

## TILTED INTERFEROMETER

Publication number: JP2005501240T

Publication date: 2005-01-13

Inventor:

Applicant:

Classification:

- International: **G01B9/02; H01L21/027; G01B9/02; H01L21/02; (IPC1-7): G01B9/02; H01L21/027**

- European: **G01B9/02; G01B9/02D; G01B9/02P**

Application number: JP20030523929T 20020814

Priority number(s): US20010314490P 20010823; WO2002US25898 20020814

Also published as:



WO03019109 (A1)

EP1419360 (A1)

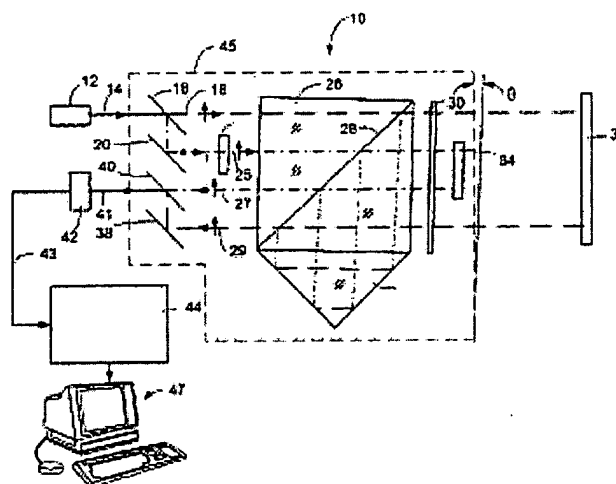
EP1419360 (A0)

Report a data error here

Abstract not available for JP2005501240T

Abstract of corresponding document: **WO03019109**

The invention comprises methods and apparatus (10) for reducing sub-harmonic cyclic errors by rotating by a small angle ( $\theta$ ) an interferometer or elements thereof (45). The rotation of the interferometer or selective elements thereof (45) introduces a corresponding small angle between a sub-harmonic type spurious beam that subsequently interferes with either the reference or measurement beam so that the fringe contrast of the interference terms between the subharmonic spurious beam and either the reference or measurement beam is reduced by a required factor for a given use application thereby reducing nonlinearities in the phase signal.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2005-501240

(P2005-501240A)

(43) 公表日 平成17年1月13日(2005.1.13)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>G01B 9/02  
H01L 21/027

F I

G01B 9/02  
H01L 21/30 515D

テーマコード (参考)

2F064  
5F046

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 71 頁)

(21) 出願番号 特願2003-523929(P2003-523929)  
 (86) (22) 出願日 平成14年8月14日(2002.8.14)  
 (85) 翻訳文提出日 平成16年2月17日(2004.2.17)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2002/025898  
 (87) 国際公開番号 W02003/019109  
 (87) 国際公開日 平成15年3月6日(2003.3.6)  
 (31) 優先権主張番号 60/314,490  
 (32) 優先日 平成13年8月23日(2001.8.23)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)  
 (81) 指定国 EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR), JP

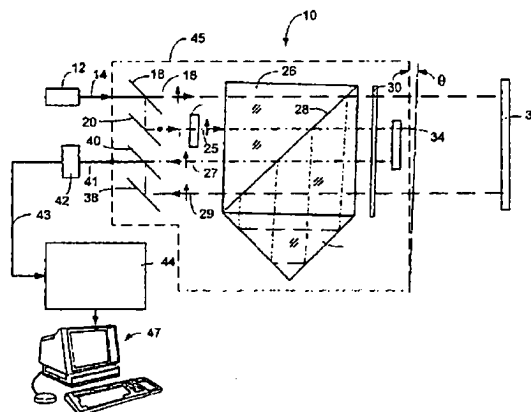
(71) 出願人 500152957  
 ザイゴ コーポレイション  
 アメリカ合衆国 コネチカット 0645  
 5-0448, ミドルフィールド, ローレル ブルック ロード (番地なし)  
 (74) 代理人 100078282  
 弁理士 山本 秀策  
 (74) 代理人 100062409  
 弁理士 安村 高明  
 (74) 代理人 100113413  
 弁理士 森下 夏樹  
 (72) 発明者 ヒル, ヘンリー アレン  
 アメリカ合衆国 アリゾナ 85716,  
 タクソン, サウス アベニダ デ パ  
 ルマス 340

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 傾斜干渉計

## (57) 【要約】

本発明は、干渉計またはその要素(45)を微小角度( $\theta$ )回転させることによって、分数調波周期誤差を軽減するための方法および装置(10)を包含する。干渉計またはその選択的な要素(45)の回転は、参照光線または測定光線と次に干渉する分数調波型の擬似光線の間に対応する微小角度を導入し、その結果、分数調波擬似光線と、参照光線または測定光線のいずれかとの間の干渉項の縞コントラストは、与えられた使用適用に必要とされる要素によって軽減され、それによって、位相信号における非線形性を軽減する。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

偏光干渉計装置であって、該装置は、少なくとも 2 つの光線を受け取るための干渉計手段を備え、そして第 1 および第 2 測定レグを提供し、該第 1 および第 2 測定レグは、該 2 つの光線を該第 1 および第 2 測定レグそれぞれに沿って進むよう分離し、各光線が該第 1 および第 2 測定レグを進む上で経験する光学経路におけるそれぞれの差についての情報を含む出口光線を生じ、該第 1 および第 2 測定レグが、それらの少なくとも 1 つが、変化し得る物理長を有するように構成および調整された光学経路を有し、該第 1 および第 2 測定レグの間の光学経路長差は、それらの光学経路の各物理長の間の差に従って変化し、ここで、該第 1 および第 2 測定レグの少なくとも 1 つが、該出口光線中の干渉要素と重なり干渉し得る分数調波周期誤差の寄与を、実質的に排除および軽減する選択的に傾斜した要素を備える、偏光干渉装置。 10

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載の偏光干渉計装置であって、さらに、前記第 1 および第 2 測定レグの所定の光学経路の対応する 1 つからの各前記出口光線の間の位相差に対応する情報を含む混合された光学信号を生じさせるように、該出口光線を組み合わせる手段を備える、偏光干渉計装置。

## 【請求項 3】

請求項 2 に記載の偏光干渉計装置であって、さらに、前記混合された光学信号を検出し、そして前記測定レグの物理経路長およびそれらの相対変化率における差に対応する情報を含む電気干渉信号を発生させる手段を備える、偏光干渉計装置。 20

## 【請求項 4】

請求項 3 に記載の偏光干渉計装置であって、さらに前記電気干渉信号を解析するための電気的手段を備える、偏光干渉計装置。

## 【請求項 5】

前記干渉手段が、前記第 1 および第 2 測定レグの対応する 1 つに沿って進む直交に偏光した光線を分離する少なくとも 1 つの偏光光線スプリッターを備える、請求項 1 に記載の偏光干渉計装置。

## 【請求項 6】

前記干渉計手段が、前記測定レグの 1 つに少なくとも 1 つの平面鏡を備える、請求項 1 に記載の偏光干渉計装置。 30

## 【請求項 7】

前記光線が同一の広がりをもつ経路に沿って進む、請求項 1 に記載の偏光干渉計装置。

## 【請求項 8】

請求項 1 に記載の偏光干渉計装置であって、複数の面を有する偏光光線スプリッターを含む複数の光学要素、該面の 1 つと実質的に平行であるように調整された第 1 固定平面鏡、該第 1 平面鏡および該 1 つの面の中間に位置する第 1 四分波プレート、該面の別の面と実質的に平行であるように調整された第 2 可動式平面鏡、平面对象鏡を備える可動式台を備え；台および平面对象鏡以外の該複数の光学要素が、該台および平面对象鏡に対して微小角度で傾斜している、偏光干渉計装置。 40

## 【請求項 9】

前記干渉計が、前記直交に偏光した光線がそれらを通じた二重の経路を生じるよう調整される、請求項 8 に記載の偏光干渉計装置。

## 【請求項 10】

請求項 1 に記載の偏光干渉計装置であって、さらに、ウェハーを製造するための該偏光干渉計装置と機能的に関連するマイクロリソグラフィ手段を備え、該マイクロリソグラフィ手段が、以下：  
ウェハーを支持するための少なくとも 1 つの台；  
該ウェハー上への空間的にパターン化された照射を画像化する照明システム；および  
該画像化された照射に対して、少なくとも 1 つの台の位置を調節する位置決めシステム； 50

を備え、

ここで、該偏光干渉計装置は、該画像化された照射に対してウェハーの位置を測定するように適合される、偏光干渉計装置。

【請求項 1 1】

請求項 1 に記載の偏光干渉計装置であって、さらに、ウェハー上に集積回路を製造するのに使用される、該偏光干渉計装置と機能的に関連したマイクロリソグラフィ手段を備え、該マイクロリソグラフィ手段が、以下：

ウェハーを支持する少なくとも 1 つの台；

照射源、遮蔽物、位置決めシステム、レンズアセンブリ、および該偏光干渉計装置の所定の部分を備える照明システム

を備え、

該マイクロリソグラフィ手段が、空間的にパターン化された照射を生じさせるよう、光源が該遮蔽物を通じて照射を方向付けるように機能的し、該位置決めシステムが、該光源からの照射に対して該遮蔽物の位置を調節し、該レンズアセンブリがウェハー上に該空間的にパターン化された照射を画像化し、そして該偏光干渉計装置が、該光源からの照射に対する該遮蔽物の位置を測定する、偏光干渉計装置。

【請求項 1 2】

請求項 1 に記載の偏光干渉計装置であって、さらに、前記第 1 および第 2 要素を備える集積回路を製造するために、該偏光干渉計装置と機能的に関連するマイクロリソグラフィ装置を備え、該第 1 および第 2 要素が互いにそして該偏光干渉計装置に対して可動し得、該偏光干渉計装置が該第 2 構成要素に対する該第 1 構成要素の位置を測定するように、該第 1 および第 2 構成要素が、それぞれ前記第 1 および第 2 測定レグと接続されており、それらとともに可動する、偏光干渉計装置。

【請求項 1 3】

請求項 1 に記載の偏光干渉計装置であって、さらに、リソグラフィ遮蔽物の製造に使用するための該偏光干渉計装置と機能的に関連する光線書き込みシステムを備え、該光線書き込みシステムが、以下：

基材をパターン化するための書き込み光線を提供する光源；

基材を支持するための少なくとも 1 つの台；

該基材に該書き込み光線を送達するための光線指向用アセンブリ；ならびに

該少なくとも 1 つの台を位置決めするための位置決めシステム

を備え、および該光線指向用アセンブリを互いに対して、

該偏光干渉計装置が、該光線指向用アセンブリに対して、該少なくとも 1 つの台の位置を測定するように適合される、偏光干渉計装置。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

（発明の背景）

本発明は、概して、干渉計（例えば、変位測定）および測定対象（例えば、リソグラフィースキャナーまたはステッパシステムにおける遮蔽台もしくはウェハー台）の変位を測定する分散干渉計、また、波長をモニターし、そしてガスの固有の特性を決定する干渉計に関する。より具体的には、そのような干渉計において発生した信号に異なって存在する周期誤差が、受容可能な程度に軽減され得るか、または実質的に排除し得る光学的手段に関する。

【0002】

変位測定干渉計は、光学干渉信号に基き参照対象に対する測定対象の位置および方向の変化をモニターする。干渉計は、参照対象から反射された参照光線と測定対象から反射された測定光線を重ねそして干渉させることによって、光学干渉信号を発生する。

【0003】

多くの適用において、測定光線および参照光線は直交偏光および異なった周波数を有する

10

20

30

40

50

。異なった周波数は、例えば、レーザーゼーマン分裂、音響光学変調、もしくは複屈折要素を使用した内部へのレーザーなど、によって生じ得る。直交偏光は、偏光光線スプリッターが、測定対象および参照対象に対して測定光線および参照光線をそれぞれ指向させることを可能とし、そして、重なり出口測定光線および参照光線を形成するように、反射した測定光線および参照光線を結合する。重なり出口光線は、続いて偏光器を通過する出力光線を形成する。偏光器は、混合された光学光線を形成するように、出口測定光線および参照光線の偏光を混合する。混合された光学光線における出口測定光線および参照光線の成分は、混合された光線の強度が、出口測定光線および参照光線の相対位相とともに変化するように、互いに干渉する。検出器は、混合された光線の時間依存性の強度を測定し、そしてその強度に比例する電気的な干渉信号を発生する。測定光線および参照光線が異なった周波数を有するときは、電気干渉信号は、出口測定光線の周波数の間の差に等しい周波数を有する参照光線「ヘテロダイン」信号を含む。測定経路長および参照経路長が、例えば、測定対象を含む台を移動させるなどして、互いに対して変化すれば、測定された周波数は、 $2 \nu n p L / \lambda$ （ここで、 $\nu$ は測定対象と参照対象の相対速度、 $\lambda$ は測定光線および参照光線の波長、 $n$ は光線が進む媒体（例えば、空気または真空）の屈折率、および $p$ は参照対象および測定対象に対する経路数である）に等しいドップラーシフトを含む。測定対象の相対位置の変化は、測定干渉信号の位相の変化に対応し、 $\lambda / (n p)$ の距離変化 $L$ （ここで、 $L$ は往復距離変化、例えば、測定対象を含む台からおよび台への距離の変化）に実質的に等しい $2 \pi$ の位相変化に対応する。

#### 【0004】

不運にも、この等値性は常に正確であるわけではない。多くの干渉計が、非線形性（例えば、「周期誤差」として既知）を包含する。周期誤差は、測定された干渉信号の位相および／または強度に対する寄与として表現され、そして光学経路長 $p n k L$ における変化においてシヌソイド型の依存性を有する。特に、位相における1次オーダーの周期誤差は、 $(2 \pi p n L) / \lambda$ のシヌソイド型依存性を有し、そして2次オーダーの周期誤差は、 $(2 \pi p n L) / \lambda$ のシヌソイド型依存性を有する。より高いオーダーの周期誤差もまた存在し得る。

#### 【0005】

周期誤差は、「光線混合」によって生じ得、参照光線を名目的に形成する入力光線の一部が、測定経路に沿って伝播する、そして／または測定光線を名目的に形成する入力光線の一部が、参照経路に沿って伝播する。そのような光線混合が、入力光線の偏光における楕円形性および干渉計構成要素の不完全性（例えば、各参照経路および測定経路に沿って、直交に偏光した入力光線を指向させるのに使用される偏光光線スプリッターにおける不完全性）によって引き起こされ得る。光線混合およびその結果生じる周期誤差のために、測定された干渉信号の位相における変化と、参照経路と測定経路との間の相対光学経路長 $p n L$ との間には、厳密には直線関係ではない。補正、排除または受容可能な程度に軽減されなければ、光線混合によって引き起こされた周期誤差は、干渉計によって測定される距離変化の正確さを制限し得る。周期誤差はまた、干渉計内での所望でない多重反射を生じさせる伝達表面における不完全性、ならびに干渉計内の光線における所望でない楕円形性を生じさせる逆反射体および／または位相遅延板のような構成要素における不完全性によっても生じ得る。周期誤差の理論的な原因への一般的な参照としては、例えば、C. W. WuおよびR. D. Deslattes, 「Analytical modeling of the periodic nonlinearity in heterodyne interferometry」, Applied Optics, 37, 6696~6700, 1998を参照のこと。

#### 【0006】

分散測定用途において、光学経路長測定は複数の波長（例えば、532 nmおよび1064 nm）で行われ、そして距離測定干渉計の測定経路におけるガスの分散を測定するために使用される。分散測定は、距離測定干渉計によって測定された光学経路長を、物理長へ変換するために使用され得る。測定対象に対する物理的な距離が不変であるとしても、測

10

20

30

40

50

定された光学経路長における変化が、ガス乱流によってかつ／または測定アーム中のガスの平均密度の変化によって引き起こされ得るので、そのような変換は重要であり得る。外在性の分散測定に加えて、光学経路長の物理長への変換は、ガスの固有値の知識を必要とする。Γ因子は適切な固有値であり、そして分散干渉計において使用される波長に対するガスの相互分散力である。Γ因子は、別々に測定され得るか、または文献値に基づき得る。干渉計における周期誤差はまた、分散測定およびΓ因子の測定に寄与する。さらに、周期誤差は、光線の波長を測定および／またはモニターするのに使用される干渉計測定を悪化させる。

#### 【0007】

周期誤差を確認し、定量化し、そして補正するためのシステムおよび方法が、提供されており、例えば、2001年6月12日に発行された、Henry A. Hillの米国特許第6,246,481号「SYSTEMS AND METHODS FOR QUANTIFYING NONLINEARITIES IN INTERFEROMETRY SYSTEMS」に記載されている。そのようなシステムおよび方法は、操作のための、高速電子装置を介する種々のアルゴリズムの実行に依存する。

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0008】

従って、本発明の第1の目的は、干渉計システムにおける周期誤差を実質的に排除および／または軽減するための簡素な光学的解決法を提供することである。

#### 【0009】

本発明の別の目的は、そうでなければ関連した電子装置にかかる負荷を軽減するように、干渉計システムにおける周期誤差の排除および／または軽減に向けた光学的な解決法を提供することである。

#### 【0010】

本発明のさらに別の目的は、干渉計システムの種々の構成要素に課される正確さまたは必要性を軽減するように、周期誤差の排除および／または軽減に向けた光学的解決法を提供することである。

#### 【0011】

以下に続く説明を添付の図面を併用して読むことで、本発明の他の目的は、その一部が明らかとなり、そしてその一部が本明細書で後に現われる。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0012】

#### （発明の要旨）

本発明は、微小角度で干渉計またはその要素を回転させることによる分数調波周期誤差を軽減するための方法および装置を包含する。干渉計またはその選択的な要素の回転は、参照光線または測定光線のいずれかと続いて干渉する分数波長型の擬似光線の間の、対応する微小角度を導入し、その結果、分数波長の擬似光線と参照光線または測定光線のいずれかとの間の干渉項の縞コントラストは、所定の使用適用のための必要とされる因子によって軽減され、それにより、位相信号における非線形性を軽減する。別に補正または排除されなければ、分数波長型の擬似光線は、分数波長型の周期誤差という結果を生じるものである。

#### 【0013】

#### （発明の詳細な説明）

本発明は、概して、干渉計またはその要素を微小角度で回転または傾斜させることによって、分数波長の周期誤差を軽減させるための装置および方法に関する。干渉計またはその選択的な要素の回転は、参照光線または測定光線のいずれかと実質的に干渉する分数波長型の擬似光線の間に対応する微小角度を導入し、その結果、分数波長の擬似光線と、参照光線または測定光線のいずれかとの間の干渉項の縞コントラストは、所定の使用適用に対する必要とされる因子によって軽減され、それによって、位相信号における非線形性を軽

10

20

30

40

50

減させる。

#### 【0014】

分数波長型の擬似光線は、別に補正または排除されないならば、結果として分数波長の周期誤差を生じるものである。見られるように、周期誤差は、(1) レーザー光源における偏光混合；(2) 干渉計における偏光混合；(3) 遅延板光学効果；(4) 台鏡光学効果；(5) ゴースト反射；(6) アナログ回路における非線形性；(7) デジタル電子装置における折り返し；および(8) 電子混合によって、一般的に使用される干渉計システムにおいて発生し得る。本発明に関連する周期誤差の2つの潜在的なタイプは、台鏡方向依存性の周期誤差および台鏡方向独立の周期誤差を包含する。そのような周期誤差がどのように生じ得るかを理解するために、少なくとも1つの周期誤差構成要素を含む位相信号を有する代表的なDPMIが、最初に記載される。次いで、DPMI検出器からの信号パワースペクトルの平方根が、検出信号における周期誤差を説明するために示される。この後に、それらの振幅に沿った種々のタイプの周期誤差要因の説明が続く。最終的に、周期誤差を実質的に排除し、そして／または受容可能な程度に軽減するための本発明の解決法が記載される。

10

#### 【0015】

ここで図1を参照すると、示差平面鏡干渉計(DPMI)システム10が示される。システム10は、光源12、偏光光線スプリッター16、および反射板20を備える。光源12は、周波数 $f$ の異なる2つの直交に偏光した成分を含む光線14を発生する。入力光線14の光源(例えば、レーザー)は、任意の種々の周波数変調装置および／またはレーザーであり得る。例えば、レーザーは、当業者に公知の任意の種々の従来技術によって安定化されたガスレーザー(例えば、HeNeレーザー)であり得、例えば、T. Baerら、「Frequency Stabilization of a 0.633  $\mu$ m He-Ne longitudinal Zeeman Laser」、Applied Optics, 19, 3137~3177 (1980)、; Burgwaldら、米国特許第3,889,207号、1975年6月10日発行；およびSandstromら、同第3,662,279号、1972年5月9日発行、に示される。あるいは、レーザーは、当業者に公知の種々の従来技術の1つにおいて周波数安定化されたダイオードレーザーであり得る(例えば、T. OkoshiおよびK. Kikuchi、「Frequency Stabilization of Semiconductor Lasers for Heterodyne-type Optical Communication Systems」、Electronic Letters, 16, 179~181 (1980)ならびにS. YamaguchiおよびM. Suzuki、「Simultaneous Stabilization of the Frequency and Power of an AlGaAs Semiconductor Laser by Use of the Optogalvanic Effect of Krypton」、IEEE J. Quantum Electronics, QE-19, 1514~1519 (1983)を参照のこと)。

20

30

#### 【0016】

2つの光学周波数は、以下の技術の1つによって生じ得る：(1) ゼーマンスプリットレーザーの使用し(例えば、Bagleyら、米国特許第3,458,259号、1969年7月29日登録；G. Bouwhuis、「Interferometrie Mit Gaslasers」、オランダ、T. Natuurk, 34, 225~232 (1968年8月)；Bagleyら、米国特許第3,656,853号、1972年4月18日発行；およびH. Matsumoto、「Recent interferometric measurements using stabilized lasers」、Precision Engineering, 6(2), 87~94 (1984)を参照のこと)；(2) 1対の音響光学ブラッグセルの使用(例えば、Y. OhtsukaおよびK. Itoh、「Two-frequency Laser Interferometer for Small Displacement Measurement

40

50

s in a Low Frequency Range」、Applied Optics, 18 (2), 219~224 (1979); N. Massieら、「Measuring Laser Flow Fields With a 64-channel Heterodyne Interferometer」、Applied Optics, 22 (14), 2141~2151 (1983); Y. OhtsukaおよびM. Tsubokawa、「Dynamic Two-frequency Interferometry for Small Displacement Measurements」Optics and Laser Technology, 16, 25~29 (1984); H. Matsumoto、同書; P. Dirksenら、米国特許第5, 485, 272号、1996年1月16日発行; N. A. RizaおよびM. M. K. Howlader、「Acousto-optic system for the generation and control of tunable low-frequency signals」Opt. Eng., 35 (4), 920~925 (1996)を参照のこと; (3) 単一音響光学ブラッグセルの使用 (例えば、G. E. Sommargren、共有に係る米国特許第4, 684, 828号、1987年8月4日発行; G. E. Sommargren、共有に係る米国特許第4, 687, 958号、1987年8月18日登録; P. Dirksenら、同書に示される; (4) ランダムに偏光したHeNeレーザーの2つの長手方向モードの使用、例えば、J. B. FergusonおよびR. H. Morris、「Single Mode Collapse in 6328 Å HeNe Lasers」、Applied Optics, 17 (18), 2924~2929 (1978)を参照のこと; (5) 内部レーザーなどの複屈折要素の使用 (例えば、V. EvtuhovおよびA. E. Siegman、「A Twisted-Mode」Technique for Obtaining Axially Uniform Energy Density in a Laser Cavity」、Applied Optics, 4 (1), 142~143 (1965); またはH. A. Hill、米国特許出願番号09/061, 928 (1998年4月17日出願)「Apparatus to Transform Two Non-Parallel Propagating Optical Beam Components into Two Orthogonally Polarized Beam Components」に記載のシステムの使用である (内容は本明細書中で参考として援用される))

#### 【0017】

光線12の光源に使用される特定のデバイスは、光線12の直径および発散を決定する。幾つかの光源 (例えば、ダイオードレーザー) について、その後の要素に対して適切な直径および発散を有する光線12を提供するために、従来の光線成形光学 (例えば、従来の顕微鏡対物レンズ) を使用する必要性がある。例えば、光源がHeNeレーザーであるとき、光線成形光学は必要でなくなり得る。

#### 【0018】

光線14は、偏光光線18として光線14のp-偏光成分 (垂直の矢印として示される) を透過し、一方、それに直交するs-偏光成分を、反射板20に反射させる偏光光線スプリッター16によって、その偏光光線成分に分離され、反射後20は、次いで、そのs-偏光成分をs-偏光光線成分22 (黒い円形の点として示される) として半波長プレート24に指向させる。光線22は、半波長プレート24によって、p-偏光光線成分18として同じ状態の偏光を有するp-偏光光線成分25に変換される。

#### 【0019】

p-偏光光線成分18および25の両方は、双方をさらに下流へと透過させる偏光光線分解層28を有する偏光光線スプリッター26に入る。光線成分25は、四分波プレート30を介して参照鏡34まで進み、参照鏡34から反射し、そして四分波プレート30を2回通じる逆の進行において、その偏光の状態を変化させ、その結果、再びs-偏光となる。その後、光線成分25は、光線スプリッター層28から指向される逆反射板36に進む



。光線成分 25 は、四分波プレート 30 を経て再び参照鏡 34 に進むように、光線スプリッター層 28 から反射される；これは参照鏡 34 への 2 回目の通過である。参照鏡 34 からの反射によって、光線 25 は、四分波プレート 30 を再度通過して p-偏光光線成分となり、それによって、光線 25 は、光線スプリッター層 28 によって透過されて p-偏光参照光線成分 27 となる。

#### 【0020】

同様の様式で、p-偏光光線成分 18 は、対象鏡 32 に向って 2 回の通過をなし、そして p-偏光測定光線成分 29 として戻される。参照光線成分 27 および測定光線成分 29 は、参照光線および測定光線が、それぞれ対象鏡 32 および参照鏡 34 へ進み、そしてそれから進んだ光学経路差についての位相情報を含む光学光線 41 として、同じ経路に沿って進むように合わせられる。

10

#### 【0021】

光学光線 41 は、それを電気信号 43 に変換する検出器 42 を通過し、次いで、位相解析器 44 を通過する。位相情報は、位相解析器 44 によって電気信号 43 から抽出され、その後、位相情報を参照鏡と対象鏡との間の物理経路長に関連させるアルゴリズムを含む、適切なソフトウェアでプログラムされるコンピューター 47 に送られる。コンピューター 47 はまたは、総合管理機能を扱い、操作者インターフェースとして働き、そして図形およびデジタルフォーマットにおける出力データを生成する。コンピューター 47 はまた、電気信号 43 に対して直接に位相解析を実行し得ることが認識される。

#### 【0022】

コンピューター 47 によって生成されたダイアグラム図形関係は、図 2 に、物理長に DMI 位相に関連させる曲線 46 として示される。周期的誤差の存在に起因し、周期特性を有する所望でない非線形性を含むことを例示するために、曲線 46 が強調した様式で示される。実際は、同時に複数の周期誤差を含み得るので、曲線 46 は、代表的にはより複雑であることが理解される。

20

#### 【0023】

曲線 46 における光源の非線形性を理解するために、検出器信号 43 のパワースペクトルを解析することは有用である。これは図 3 に、振幅対周波数を示す曲線として見られる。より具体的には、図 3 は、検出器 42 からの信号のパワースペクトルの平方根を示し、ここで、干渉計は、記載されるように、再び、示差平面鏡干渉計 (DPMI) である。

30

#### 【0024】

図 3 において、ピーク 1 は主要な、すなわち所望のピークである。ピーク 2 は半調波周期誤差項であり、そしてピーク 3 は半調波周期誤差項の第 3 調波である。ピーク 2 およびピーク 3 の振幅は、それぞれ 4 nm および 2 nm である。次に大きい振幅ピーク 4、ピーク 5 およびピーク 6 は、分数調波周期誤差とは関連しない。ピーク 4、ピーク 5 およびピーク 6 の振幅は、それぞれ 1.2 nm、0.6 nm および 0.1 nm である。

#### 【0025】

ピーク 4 およびピーク 5 の光源は、例えば、DPMI における偏光光線スプリッター 26 での漏出および光源 12 における偏光混合の漏出である。ピーク 2 およびピーク 3 の光源は、本明細書で上に挙げられた、1 またはそれ以上の分数調波周期誤差の光源を含む。周波数スケールは、ナイキスト周波数まで規格化される。ピーク 4 の周波数は、入力光線の規格化されたスプリット周波数 0.4 と一致し、そしてピーク 5 の周波数は、規格化されたドップラーシフト周波数 0.1 と一致する。ピーク 1 の周波数は、規格化されたスプリット周波数 0.4 から、ドップラーシフト周波数 0.1 の分だけ、規格化された周波数 0.3 にまで下方シフトする。

40

#### 【0026】

本明細書で以降に見られるように、ピーク 2 およびピーク 3 は、5 mm の光線直径に対して 0.001 ラジアン分の、干渉計 10 もしくは 1 以上のその要素の回転によって排除され、必要とされる微小角度の回転または傾斜は、少なくとも一部では、入力光線の直径に依存することが理解される。

50

## 【0027】

図3のパワースペクトルにおける、種々の周期誤差成分またはその分数調波の存在について、物理光源を理解するために、ここで図4～11を参照する。これらの図は、高安定性平面鏡干渉計(HSPMI)において存在し得る台鏡依存の周期誤差の図示である。台鏡方向依存の周期誤差の振幅は、概して、2種類の周期誤差より大きい。

## 【0028】

ここで図4を参照すると、高安定性平面鏡干渉計(HSPMI)システム50が示される。入力光線52は、それぞれダッシュドットドット線および短いダッシュ線で示される周波数 $f_1$ および $f_2$ を有する直交に偏光した光線成分を用い、通常の方法で提供される。システム50は、主要な成分として偏光光線スプリッター層56を有する偏光光線スプリッター54；逆反射板58；四分波プレート62；参照鏡64；四分波プレート60；対象鏡68が装着された可動台66；ならびに操縦ウェッジ70および72を備え、これらは存在してもしなくてもよいが、整列の目的のために本明細書に含まれる。

10

## 【0029】

通常、入力光線52の偏光成分は、それらの直線偏光状態に基づいて偏光光線スプリッター層56で分離される；主出力光線74を提供するように結合される前に、1つは参照鏡64へと2回進み、そして1つは対象鏡68を2回通過する。しかし、この場合、逆反射板58へ1回進んだ後の参照光線は、台鏡68に反射するように偏光光線スプリッター層56を通じて部分的に進むのに、わずかに、しかし十分に変化した偏光状態を有し、そして、擬似光線76と主光線74における干渉成分とで結合され、従って、逆反射板によって誘起される偏光シフトによって引き起こされる偏光混合に起因して、周期誤差の一因となる。この図において、そして続く図において、擬似光線の経路は、説明のために非常に強調されているが、実際は、主光線と実際に重なることが認識される。参照鏡表面が、台鏡68と光学的に整列され、そして2.5～5.0nmの振幅を有し得る場合に、次の分数調波周期誤差項が現われる。

20

## 【0030】

図5は図4に類似し、ここで全ての同じ構成要素は同じ数字の同一性を有し、全ての図において同じである。しかし、ここで周期誤差は、検出器で参照光線および測定光線を混合する擬似光線78を引き起こすような、逆反射板58による対象光線のわずかな偏光シフトに起因する偏光混合のせいで生じる。再び、参照鏡64および対象鏡68が光学的に整列され、そして2.5～5.0nmの振幅であり得るときに、次の分数調波周期誤差項が現われる。

30

## 【0031】

図6において、擬似光線80は、四分波プレート60の表面 $S_1$ からの反射の結果として生成される。表面 $S_1$ から反射した成分は、主光線74における成分になる前に、対象鏡68を進み得るように、偏光される。次の周期誤差項の振幅は、1.5～3.0nmであり得る。

## 【0032】

擬似光線82が、その発生源として、操縦ウェッジ72の表面 $S_2$ からの初期反射を有することを除いて、図7は図6に類似である。次の周期誤差項の振幅は、1.5～3.0nmであり得る。

40

## 【0033】

擬似光線84が、その発生源として、操縦ウェッジ70の表面 $S_3$ からの反射を有することを除いて、図8は、図6および図7と類似である。次の周期誤差項の振幅は、1.5～3.0nmであり得る。

## 【0034】

図9において、擬似光線86は、光源として、四分波プレート60の表面 $S_4$ からの測定光線の反射を有しつつ、生成される。次の周期誤差項の振幅は、1.5～3.0nmであり得る。

## 【0035】

50

図10において、擬似光線88は、操縦ウェッジ72の表面 $S_5$ からの測定光線の反射の結果として、生成される。次の周期誤差項の振幅は、1.5～3.0nmであり得る。

【0036】

図11において、擬似光線90は、操縦ウェッジ70の表面 $S_6$ からの測定光線の反射の結果として、生成される。次の周期誤差項の振幅は、1.5～3.0nmであり得る。

【0037】

ここで図12～15を参照すると、光源レーザー腔の出口鏡からの反射表面が、干渉計における複合表面に対して光学的に整列されるときに生じる、台鏡依存的な周期誤差が例示される。これらの図において、レーザー腔出口鏡は94として示される。

【0038】

図12において、擬似光線96は、光源として、操縦ウェッジ70の表面 $S_7$ からの測定光線の反射を有して、生成される。ここで、擬似光線は、対象鏡68に対して3回通過し、そしてレーザー鏡94の裏面に対して1回通過する。分数調波周期誤差項は、0.6～1.2nmの振幅を有し得る。

【0039】

図13は図12に類似であり、ここで擬似光線98は、偏光光線スプリッター54の表面 $S_8$ からの測定光線の初期反射の結果として、生成される。分数調波周期誤差項は、0.6～1.2nmの振幅を有し得る。

【0040】

図14において、擬似光線100は、四分波プレート60の表面 $S_9$ からの測定光線の初期反射の結果として、生成される。分数調波周期誤差項は、0.6～1.2nmの振幅を有し得る。 20

【0041】

図15において、擬似光線102は、偏光光線スプリッター54の表面 $S_{10}$ からの測定光線の初期反射の結果として、生成される。分数調波周期誤差項は、0.6～1.2nmの振幅を有し得る。

【0042】

図16および図17は、干渉計システム50を備えるガラス要素における複屈折に起因する擬似光線の生成を示す。図16において、参照光線が複屈折に起因して変化した偏光を有するとき、擬似光線104が生成され、その結果、この擬似光線の部分は対象鏡68に進み、そして主光線74と結合するように戻る。分数調波周期誤差項は、経路長10mmあたり約0.5nmの振幅であり得る。 30

【0043】

図17において、複屈折が測定光線の部分を参照鏡64へと進ませ、そして主光線74と合うように戻らせる場合に、擬似光線106が生成される。分数調波周期誤差項は、経路長10mmあたり約0.5nmの振幅であり得る。

【0044】

認識されるように、前述の周期誤差の潜在的な光源が1度に1つ以上存在し、それにより、距離測定および／または固有光学特性の評価に実質的な誤差を加えるので、それらを実質的に排除または軽減することは重要である。これをいかにして達成し得るかは、図18を参照することで理解される。 40

【0045】

図18は、前記図3で示される検出器42からの信号43中に別に存在し得る周期誤差を、軽減または実質的に排除するための、干渉計システム10の種々の構成要素の回転または傾斜を示す。図18に見られるように、ドット囲み45により示される構成要素は、0.001ラジアン（ $\theta$ ）だけ回転されており、ここで、入力光線の直径は5mmであった。これらの干渉計構成要素を回転させる効果は図19に示され、これは図3のものと同様に、振幅のパワースペクトル 対 検出器出力信号の周波数である。図19の曲線の調査から容易に明らかなように、ピーク2およびピーク3は、図3では実質的な誤差の源であり、それぞれ4nmおよび2nmであったが、図3と比較すると排除されてい 50

る。

#### 【0046】

いずれの擬似光線がシステムに存在し得るか、またはもう1つの潜在的な周期誤差光源が調和して作用し得るかどうか、が未知の場合において、図18に示されるような干渉計システム10を備える構成要素の主要部の回転は、周期誤差を実質的に排除および／または軽減するのに好ましい解決法である。しかしながら、周期誤差の光源が、前もって知識または実験によって同定され得る場合、1つ以上の構成要素は、有利に回転され得る。

#### 【0047】

ここで図20を参照すると、任意の以前の同定された表面の組が、平行とならず、それによって周期誤差を実質的に排除および／または軽減し得るように、台66を除いて、干渉計システムの50の全ての他の構成要素が、約0.001ラジアン（約0.057度）の微小角度の分だけ回転されることが示される。

10

#### 【0048】

図21は、図20を参照して示される回転の場合と同様の、周期誤差における同様の軽減を達成するための、操縦ウェッジ70および操縦ウェッジ72に対する、四分波プレート60の干渉計システム50における逆回転を示す。ここで、再び、角回転は約0.001ラジアンである。

#### 【0049】

本発明のアプローチにより達成される主要な利点は、正確さの要件を緩和することと共に、周期誤差に対する補正を解析および提供するような、より複雑な電子装置の必要性を軽減することである。

20

#### 【0050】

上記の干渉計システムは、大きな規模の集積回路（例えば、コンピューターチップなど）を製造するのに使用されるリソグラフィー適用において特に有用であり得る。リソグラフィーは、半導体製造産業にとって鍵となる技術原動力である。オーバーレイの改善は、線幅を100nm（設計ルール）以下まで減少させるという、5つの最も困難な挑戦の1つである。例えば、Semiconductor Industry Roadmap, p 82（1997）を参照のこと。オーバーレイは、ウェハーおよび十字線（または遮蔽）台を位置決めするのに使用される距離測定干渉計の性能、すなわち、正確さおよび精密さに直接的に依存する。リソグラフィー器機が年間5千万～1億ドルの製品を生産し得るので、距離測定干渉計の改善された性能の経済的価値は相当のものである。リソグラフィー器機の生産高が各1%増加すると、集積回路製造業にとって約100万ドル／年の経済利益を結果として生じ、そしてリソグラフィー販売業者にとって実質的な競合的利点が生じる。

30

#### 【0051】

リソグラフィー器機の機能は、フォトレジスト被覆されたウェハー上へと空間的にパターン化された照射を向けることである。その工程は、ウェハーが照射を受ける位置を決定する工程（整列）およびその位置でのフォトレジストへの照射を適用する工程（曝露）、を含む。

#### 【0052】

適切にウェハーを位置決めするのに、ウェハーは、ウェハー上に専用センサーによって測定され得る整列マークを備える。整列マークの測定された位置は、器具内でのウェハーの位置を規定する。ウェハー表面の所望のパターン化の仕様に沿うこの情報は、空間的にパターン化された照射に対して、ウェハーの整列を誘導する。そのような情報に基づいて、可動台（例えば、システム50の台66）は、フォトレジスト被覆されたウェハーを支持しながら、照射がウェハーの正確な位置を曝露するように、ウェハーを動かす。

40

#### 【0053】

曝露の間、照射光源は、パターン化された十字線を照らし、空間的にパターン化された照射を生成するように照射を散乱させる。十字線はまた、遮蔽物とも言われ、そして、これらの用語は以下で互換的に使用される。縮小リソグラフィーの場合では、縮小レンズは散

50

乱された照射を集め、そして十字線パターンの縮小された画像を形成する。あるいは、近接焼付けの場合では、十字線パターンの1:1画像を生成するためにウェハーに接触する前に、散乱された照射は微小距離（代表的にはミクロンオーダー）を伝播する。照射は、フォトレジスト内で、照射パターンを潜像に変換するフォトレジストにおいて、光化学プロセスを開始する。

#### 【0054】

上記の干渉計システムは、ウェハーおよび十字線の位置を制御し、ウェハー上に十字線画像を記録する、位置決め機構の重要な構成要素である。

#### 【0055】

概して、リソグラフィシステムはまた、曝露システムとも言われ、代表的には、照明システムおよびウェハー位置決めシステムを備える。照明システムは、照射（例えば、紫外線、可視光線、X線、電子線、またはイオン照射）を提供する照射光源、および照射に対してパターンを与える十字線または遮蔽物を備え、それにより、空間的にパターン化された照射を生成する。さらに、縮小リソグラフィの場合について、照明システムは、ウェハー上へ空間的にパターン化された照射を画像化するためのレンズアセンブリを備え得る。画像化された照射は、ウェハー上に被覆されたフォトレジストを曝露する。照明システムはまた、遮蔽物を支持する遮蔽台、および遮蔽物を通じて指向される照射に対して遮蔽台の位置を調整する位置決めシステムを備える。ウェハー位置決めシステムは、ウェハーを支持するウェハー台、および画像化された照射に対してウェハー台の位置を調整する位置決めシステムを備える。集積回路の製造は、多重曝露工程を包含し得る。リソグラフィの総合的な参照として、例えば、J. R. Sheats および B. W. Smith, 「Microlithography: Science and Technology」 (Marcel Dekker, Inc., New York, 1998) (この内容は、本明細書中で参考として援用される) を参照のこと。

#### 【0056】

上記の干渉計システムは、曝露システムの他の構成要素（例えば、レンズアセンブリ、照射光源、または支持構造体）に対して各ウェハー台および遮蔽台の位置を正確に測定するのに使用され得る。そのような場合において、干渉計システムは、静止構造体および可動要素（例えば、遮蔽台およびウェハー台の1つ）に装着された測定対象に装着され得る。あるいは、状況は逆であり得、可動対象および静止対象に装着された測定対象に装着された干渉計システムもあり得る。

#### 【0057】

より一般的には、干渉計システムは、曝露システムの任意の他の構成要素に対して、曝露システムの任意の1つの構成要素の位置を測定するのに使用され得、ここで、干渉計システムはこれらの構成要素の1つによって装着、または支持され、そして測定対象は構成要素の他の1つによって装着、または支持される。

#### 【0058】

干渉計システム126を使用するリソグラフィースキャナー100の例が、図22に示される。干渉計システムは、曝露システム内でウェハーの位置を正確に測定するのに使用される。ここで、台122は曝露ステーションに対してウェハーを位置決めするために使用される。スキャナー100は、他の支持構造体およびそれらの構造体上にある種々の構成要素を有するフレーム102を備える。曝露基部104は、その上面に取り付けられたレンズハウジング106を有し、レンズハウジング106の上面には、十字線または遮蔽物を支持するのに使用される十字線または遮蔽台116が取り付けられる。曝露位置に対して、遮蔽物の位置決めをする位置決めシステムは、要素117によって概略的に示される。位置決めシステム117は、例えば、圧電変換器要素および対応する制御電子装置を備え得る。この記載された実施形態には含まれていないが、1つ以上の上記の干渉計システムはまた、リソグラフィ構造体を製造する工程において位置が正確にモニターされる必要がある、遮蔽台の位置および他の可動要素の位置を正確に測定するのに使用され得る（前出、Sheats および Smith, 「Microlithography: Scie

nce and Technology」を参照のこと）。

#### 【0059】

以下に記載される曝露基部104の下に吊るされるのは、ウェハー台122を有する支持基部113である。台122は、干渉計システム126によって台へ指向される測定光線154を反射するための、平面鏡を備える。干渉計システム126に対して、台122を位置決めする位置決めシステムは、要素119によって概略的に示される。位置決めシステム119は、例えば、圧電変換器要素および対応する制御電子装置を備え得る。測定光線は、曝露基部104に取り付けられる干渉計システムへ戻るように反射する。この干渉計システムは、前記実施形態のいずれかであり得る。

#### 【0060】

操作の間、照射光線110（例えば、紫外（UV）レーザーからのUV光線（図示せず））は、光線整形光学アセンブリ112を通過し、そして鏡114から反射した後に下方へ進む。その後、照射光線は、遮蔽台116に保持される遮蔽物（図示せず）を通過する。遮蔽物（図示せず）は、レンズハウジング106に保持されるレンズアセンブリ108を介して、ウェハー台122上のウェハー（図示せず）上へ画像化される。基部104および基部104によって支持される種々の構成要素は、バネ120によって示される減衰システムによって、環境振動から絶縁される。

#### 【0061】

リソグラフィースキャナーの他の実施形態において、1以上の前記の干渉計システムは、多重軸に沿った距離を測定し、そして例えば、以下に限定されないが、ウェハー台および十字線（または遮蔽）台と関連する角度を測定するのに使用され得る。また、UVレーザー光線ではなく、他の光線（例えば、X線、電子線、イオンビーム、および可視光線を含む）が、ウェハーを曝露するのに使用され得る。

#### 【0062】

加えて、リソグラフィースキャナーはカラム参照を備え得、ここで、干渉計システム126は参照光線を、干渉計システムに対して内部の参照経路ではなく、レンズハウジング106または照射光線を指向させる幾つかの他の機構へ指向させる。台122から反射される測定光線154およびレンズハウジング106から反射される参照光線を結合する際に、干渉計システム126によって生成される干渉信号は、照射光線に対する台の位置の変化を示す。さらに、他の実施形態において、干渉計システム126は、十字線（または遮蔽）台116またはスキャナーシステムの他の可動構成要素の位置の変化を測定するために位置決めされ得る。最後に、干渉計システムは、類似の方法で、スキャナーに加えて、またはそれに代えてステッパーを備えるリソグラフィースシステムに使用され得る。

#### 【0063】

当該分野で周知のように、リソグラフィーは半導体デバイスの製造方法の重要な部分である。例えば、米国特許第5,483,343号は、そのような製造方法についての工程を概説する。これらの工程は、図23および24を参照して、以下に記載される。図23は半導体デバイス（例えば、半導体チップ（例えば、ICまたはLSI）、液晶パネルもしくはCCD）の製造の配列のフローチャートである。工程251は、半導体デバイスの回路を設計するための設計工程である。工程252は、回路パターン設計に基づく遮蔽物を製造する工程である。工程253は、材料（例えば、シリコン）を使用することによってウェハーを製造する工程である。

#### 【0064】

工程254は、前工程と呼ばれるウェハー工程であり、ここで、そのように調製された遮蔽物およびウェハーによって、回路はリソグラフィーを通じてウェハー上に形成される。工程255は、後工程と呼ばれるアセンブリ工程であり、ここで、工程254の工程を経たウェハーは、半導体チップの中へ形成される。この工程は、アセンブリ工程（方形切断および接合）および包装工程（チップ密封）を包含する。工程256は、検査工程であり、ここで、工程255によって製造された半導体デバイスの運転性能検査、耐久性性能検査など、が行われる。これらの工程によって、半導体デバイスは完成され、そして輸送される

10

20

30

40

50

(工程 2 5 7)。

#### 【0065】

図 2 4 は、ウェハー工程の詳細を示したフローチャートである。工程 2 6 1 は、ウェハーの表面を酸化するための酸化工程である。工程 2 6 2 は、ウェハー表面上に絶縁フィルムを形成するための C V D 工程である。工程 2 6 3 は、蒸着によってウェハー上に電極を形成するための電極形成工程である。工程 2 6 4 は、ウェハーにイオンを包埋させる、イオン包埋工程である。工程 2 6 5 は、ウェハーにフォトレジスト（光感受性物質）を適用する、フォトレジスト工程である。工程 2 6 6 は、上記の曝露装置を通じる、ウェハー上への遮蔽物の回路パターンを、曝露によって、焼付けする、曝露工程である。工程 2 6 7 は、曝露されたウェハーを展開する、展開工程である。工程 2 6 8 は、展開されたフォトレジスト画像以外の部分を除去する、エッチング工程である。工程 2 6 9 は、エッチング工程後に行われる、ウェハーに残存するフォトレジスト物質を分離する、フォトレジスト分離工程である。これらの工程を繰り返すことで、回路パターンは、ウェハー上に形成され、そして重ねられる。

10

#### 【0066】

上記の干渉計システムはまた、対象の相対位置が正確に測定される必要のある他の適用にも使用され得る。例えば、基板または光線のいずれかが動くにつれて、書き込み光線（例えば、レーザー、X 線、イオン線、または電子線）が基材上へパターンを形成する適用において、干渉計システムはまた、基材と書き込み光線との間の相対移動を測定するのに使用され得る。

20

#### 【0067】

1 つの例として、図 2 5 に光線書き込みシステム 3 0 0 の概略図が示される。光源 3 1 0 は書き込み光線 3 1 2 を生成し、そして光線焦点アセンブリ 3 1 4 は、照射光線を可動台 3 1 8 によって支持された基板 3 1 6 に指向させる。台の相対位置を決定するために、干渉計システム 3 2 0 は、参照光線 3 2 2 を光線焦点アセンブリ 3 1 4 に取り付けられた鏡 3 2 4 へ指向させ、そして測定光線 3 2 6 を台 3 1 8 に取り付けられた鏡 3 2 8 へ指向させる。干渉計システム 3 2 0 は、前記の任意の干渉計システムであり得る。干渉計システムによって測定された相対位置の変化は、基板 3 1 6 上の書き込み光線 3 1 2 の相対位置の変化に一致する。干渉計システム 3 2 0 は、基板 3 1 6 上の書き込み光線 3 1 2 の相対位置の表示である制御器 3 3 0 へ、測定信号 3 3 2 を送る。制御器 3 3 0 は、出力信号 3 3 4 を、台 3 1 8 を支持し、そして位置決めする基部 3 3 6 へ送る。さらに、制御器 3 3 0 は、書き込み光線 3 1 2 の強度を変化させ、または遮断するように、信号 3 3 8 を光源 3 1 0 へ送り、その結果、書き込み光線は、基板の選択された位置のみにおいて、光物理変化または光化学変化を引き起こすのに十分な強度でもって、基板と接触する。よりさらには、幾つかの実施形態において、制御器 3 3 0 は、例えば、信号 3 4 4 を使用して、光線焦点アセンブリ 3 1 4 に、基板の領域にわたって書き込み光線を走査させ得る。結果として、制御器 3 3 0 は、基板をパターン化するようにシステムの他の構成要素を指向させる。パターン化は、代表的には、制御器に保存された電子装置設計パターンに基づく。幾つかの適用において、書き込み光線は、基板上に被覆されたフォトレジストをパターン化し、そして他の適用において、書き込み光線は、基板を直接パターン化（例えば、エッチを施す）する。

30

40

#### 【0068】

そのようなシステムの重要な適用は、前記のリソグラフィー方法において使用される、遮蔽物および十字線の製造である。例えば、リソグラフィー遮蔽物を製造するために、電子線がクロム被覆されたガラス基板をパターン化するのに使用され得る。そのような、書き込み光線が電子線である場合において、光線書き込みシステムは真空中に電子線を封入する。また、書き込み光線が、例えば、電子線またはイオン線である場合において、光線焦点アセンブリは、電場生成器（例えば、真空下で、荷電した粒子を基板上に集中させ、そして指向させる四極子レンズ）を備える。書き込み光線が照射光線（例えば、X 線、UV、または可視照射）である他の場合において、光線焦点アセンブリは、照射を基板に集中

50

させ、そして指向させる対応する光学系を備える。

【0069】

さらに他の変化が本発明に対してなされ得る。例えば、1つの適用において、参照および干渉計の測定レグの両方に含まれるガスの屈折率を監視することは望ましい。例では、周知のカラム参照型の干渉計を備え、ここで、参照レグは、機械システム内の1つ位置に配置される標的光学を備え、そして測定レグは、同じ機械システム内の異なる位置に配置される標的光学を備える。別の例の適用は、微小角度の測定に関し、測定光線および参照光線の両方が、小さい物理的オフセットではなく、同じ標的光学上に衝突し、それによって、標的光学の角度方向の感度の高い測定を提供する。これらの適用および構成は、当業者に周知であり、そして必要な改変は、本発明の範囲内に意図される。

10

【0070】

上記、本明細書に記載される技術および実施形態に基づいて、本発明の他の変形は、当業者に対して明らかであり、そしてそのような変形は、請求される発明の範囲内であるように意図される。

【0071】

本発明の構造、操作および方法論は、他の目的およびその利点とともに、各部分が、種々の図面のどこに現われても各部分を識別する割り当てられた数字を有する図面を併用して詳細な説明を読むことによって、最も良く理解され得る。

【図面の簡単な説明】

【0072】

【図1】図1は、周期誤差が存在し得るタイプの示差平面鏡干渉計システム(DPMI)のダイアグラム平面図である。

20

【図2】図2は、周期誤差の少なくとも1つの光源が、周期的な特性を有しながら存在する場合に、距離測定干渉計(DMI)における位相信号がどのように、測定される距離と共に変化し得るかを図表で示したグラフである。

【図3】図3は、所望でない周期誤差項を少なくとも1つ含む検出信号の電力スペクトルの平方根のグラフである。

【図4】図4は高安定性平面鏡干渉計(HSPMI)に存在し得る、台鏡依存の周期誤差のダイアグラム図である。

【図5】図5は高安定性平面鏡干渉計(HSPMI)に存在し得る、台鏡依存の周期誤差のダイアグラム図である。

30

【図6】図6は高安定性平面鏡干渉計(HSPMI)に存在し得る、台鏡依存の周期誤差のダイアグラム図である。

【図7】図7は高安定性平面鏡干渉計(HSPMI)に存在し得る、台鏡依存の周期誤差のダイアグラム図である。

【図8】図8は高安定性平面鏡干渉計(HSPMI)に存在し得る、台鏡依存の周期誤差のダイアグラム図である。

【図9】図9は高安定性平面鏡干渉計(HSPMI)に存在し得る、台鏡依存の周期誤差のダイアグラム図である。

【図10】図10は高安定性平面鏡干渉計(HSPMI)に存在し得る、台鏡依存の周期誤差のダイアグラム図である。

40

【図11】図11は高安定性平面鏡干渉計(HSPMI)に存在し得る、台鏡依存の周期誤差の線図である。

【図12】図12は、レーザーの出口鏡が、干渉計における別の共役表面に対して任意に整列されるときに、図4～図11のHSPMIに存在し得る、台鏡依存の周期誤差のダイアグラム図である。

【図13】図13は、レーザーの出口鏡が、干渉計における別の共役表面に対して任意に整列されるときに、図4～図11のHSPMIに存在し得る、台鏡依存の周期誤差のダイアグラム図である。

【図14】図14は、レーザーの出口鏡が、干渉計における別の共役表面に対して任意に

50



整列されるときに、図４～図１１のＨＳＰＭＩに存在し得る、台鏡依存の周期誤差のダイアグラム図である。

【図１５】図１５は、レーザーの出口鏡が、干渉計における別の共役表面に対して任意に整列されるときに、図４～図１１のＨＳＰＭＩに存在し得る、台鏡依存の周期誤差のダイアグラム図である。

【図１６】図１６は、図４～図１５のＨＳＰＭＩに存在し得る複屈折依存の周期的誤差のダイアグラム図である。

【図１７】図１７は、図４～図１５のＨＳＰＭＩに存在し得る複屈折依存の周期的誤差のダイアグラム図である。

【図１８】図１８は、周期的誤差を実質的に排除および／または軽減するように傾斜した種々の構成要素を伴う、図１のＤＰＭＩシステムを示す。 10

【図１９】図１９は、図１８に示されるような、ＤＰＭＩの傾斜した種々の構成要素の結果としての重大な周期的誤差の除去を例示する、図３のグラフと類似のグラフである。

【図２０】図２０は、図４～図１７に示されるＨＳＰＭＩ干渉計を傾斜させることによる、分数波長の周期的誤差の実質的な排除のための解決法の線図である。

【図２１】図２１は、図４～図１７に示されるＨＳＰＭＩ干渉計の特定の要素を傾斜させることによる、分数波長の周期的誤差の実質的な排除のための、別の解決法のダイアグラム図である。

【図２２】図２２は、集積回路を製造するためのリソグラフィーおよびその応用に関し、干渉計システムを使用するリソグラフィー露光システムの概略図である。 20

【図２３】図２３は、集積回路を製造するためのリソグラフィーおよびその応用に関し、集積回路を製造する工程を記載するフローチャートである。

【図２４】図２４は、集積回路を製造するためのリソグラフィーおよびその応用に関し、集積回路を製造する工程を記載するフローチャートである。

【図２５】図２５は、集積回路を製造するためのリソグラフィーおよびその応用に関し、干渉計システムを使用する光線書き込みシステムの概略図である。

【図 2】

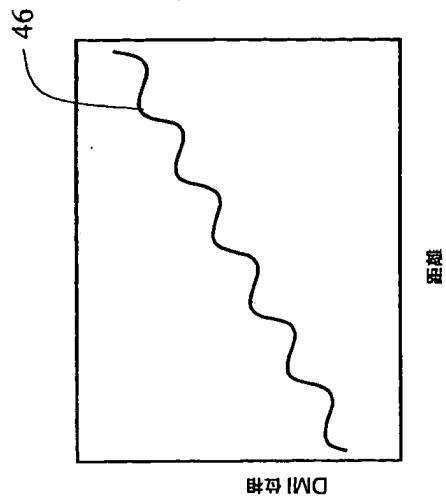
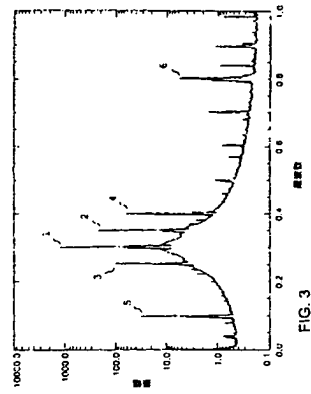


FIG. 2

【図 3】



【図 4】

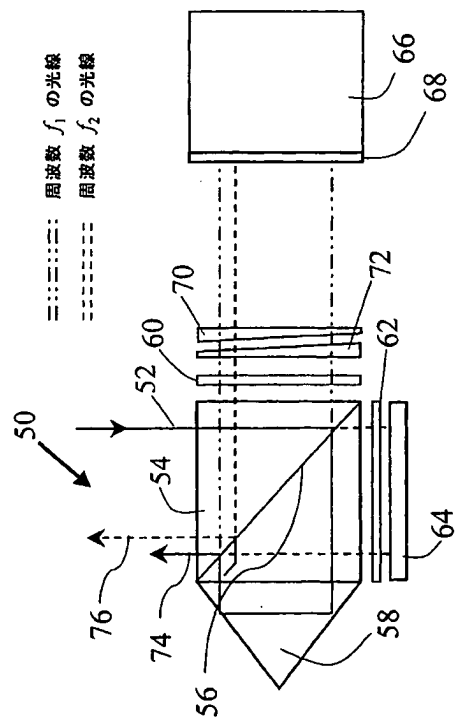


FIG. 4

【図 5】

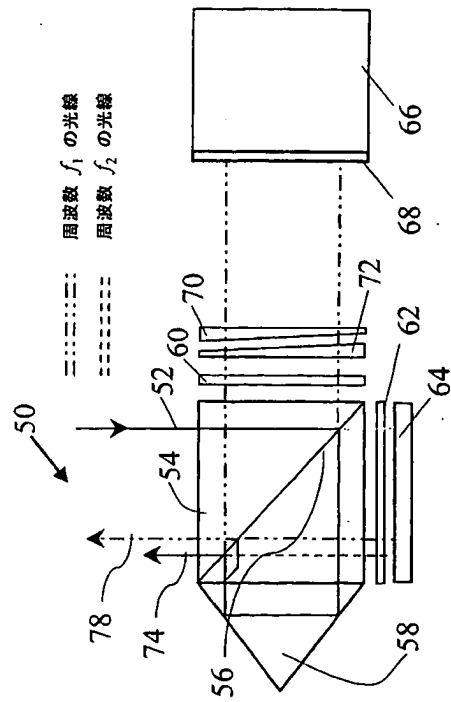


FIG. 5

【図 6】

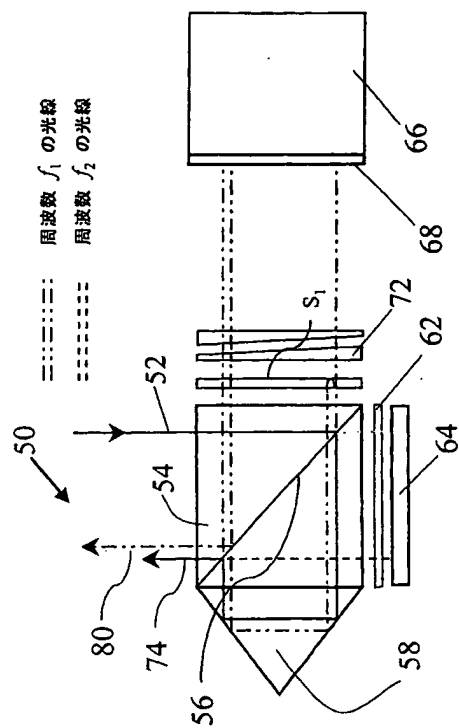


FIG. 6

【図 7】

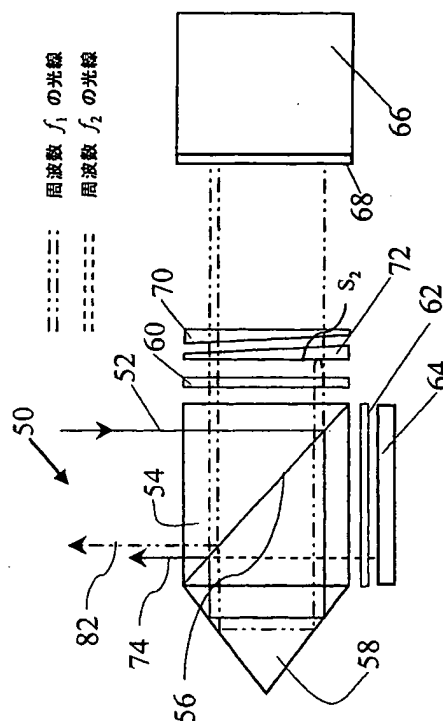


FIG. 7

【図 8】

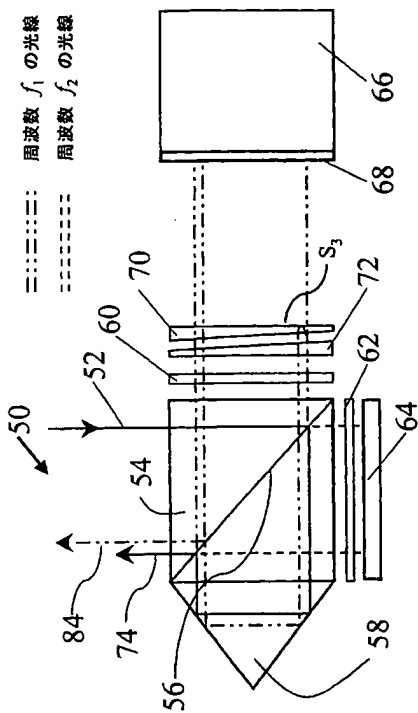


FIG. 8

【図 9】

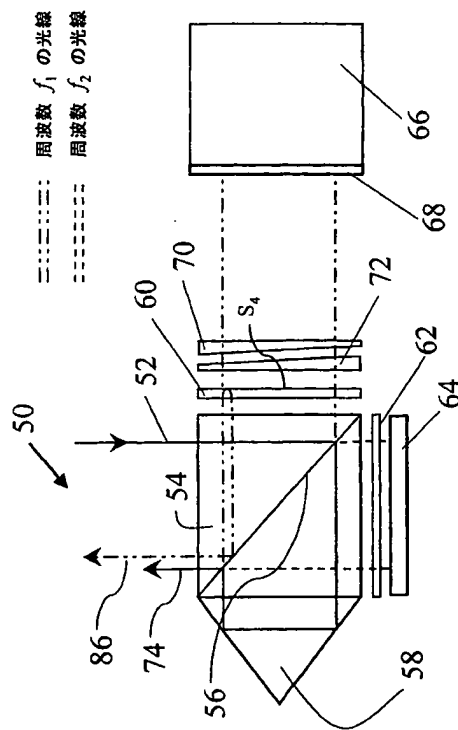


FIG. 9

FIG. 13

【図 1 4】

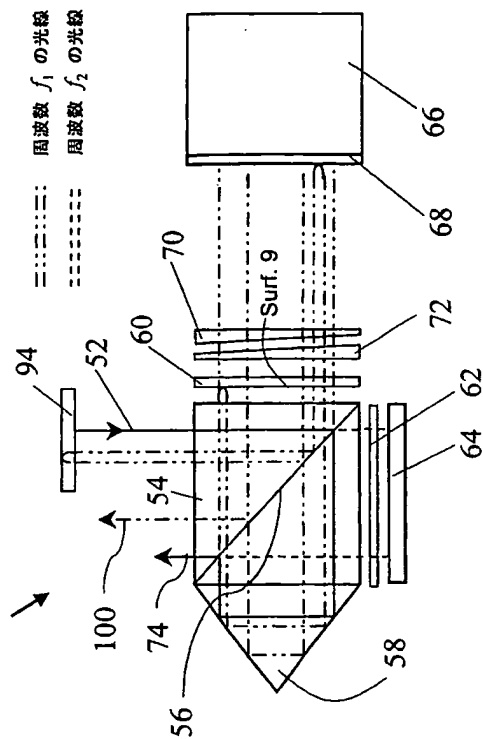


FIG. 14

【図 1 5】

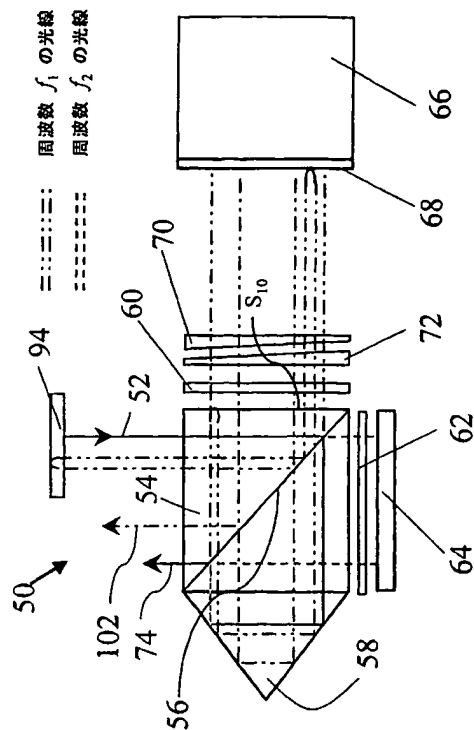


FIG. 15

【図 1 6】

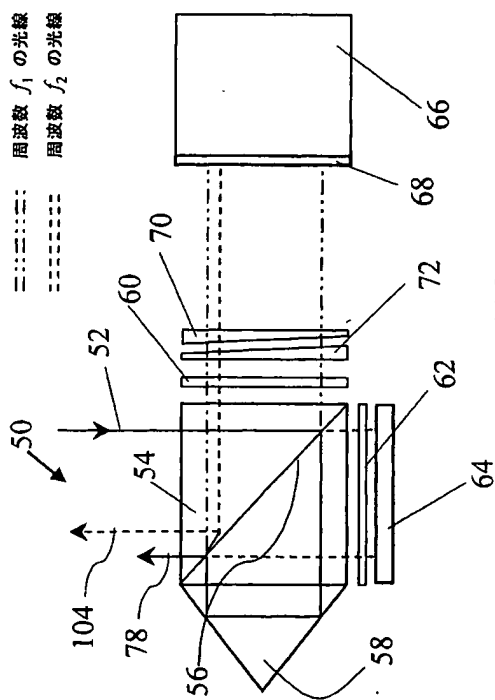


FIG. 16

【図 1 7】

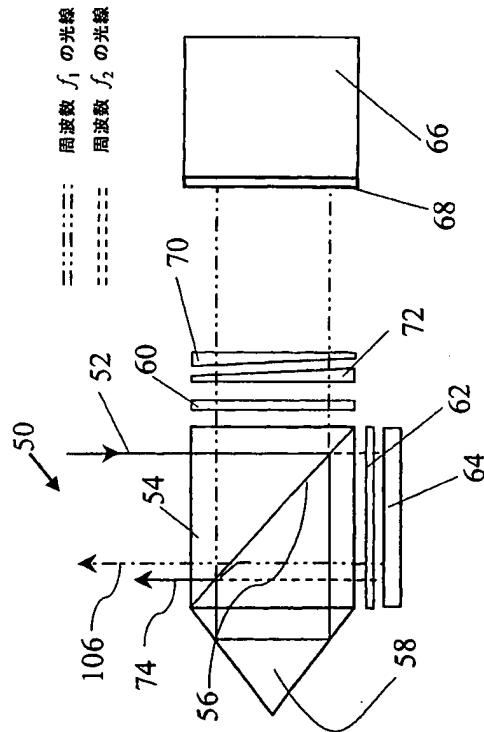


FIG. 17

【図 19】

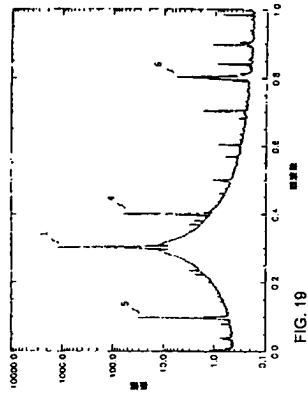


FIG. 19

【図 21】

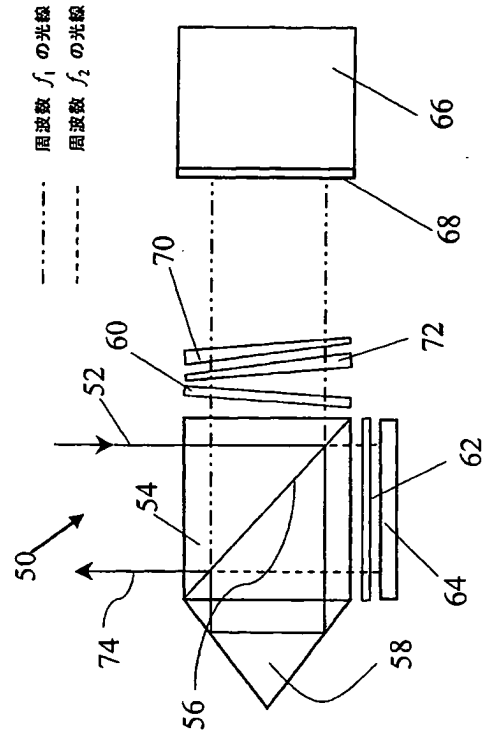


FIG. 21

【図 23】

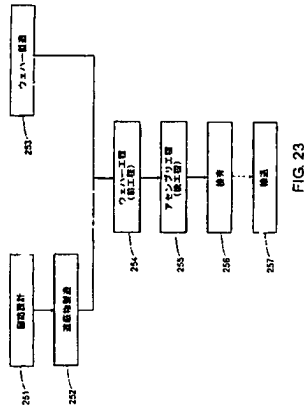


FIG. 23

【図 24】

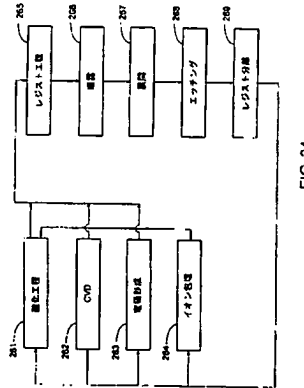


FIG. 24

## 【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization  
International Bureau(43) International Publication Date  
6 March 2003 (06.03.2003)

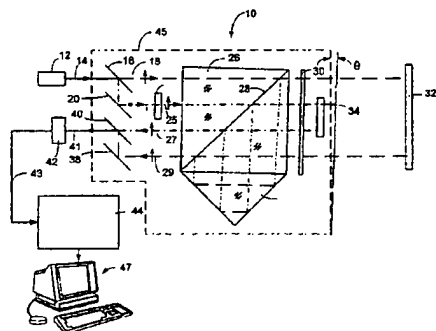
PCT

(10) International Publication Number  
WO 03/019109 A1

- (51) International Patent Classification: G01B 9/02 (74) Agent: CAUFIELD, Francis, J.; 6 Apollo Circle, Lexington, MA 02421-7025 (US).
- (21) International Application Number: PCT/US02/25898 (81) Designated State (national): JP.
- (22) International Filing Date: 14 August 2002 (14.08.2002) (84) Designated States (regional): European patent (AT, BF, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR).
- (25) Filing Language: English
- (26) Publication Language: English
- (30) Priority Data: 60/314,490 23 August 2001 (23.08.2001) US  
Published:  
with international search report  
before the expiration of the time limit for amending the  
claims and to be republished in the event of receipt of  
amendments
- (71) Applicant: ZYGO CORPORATION (US/US); Laurel Brook Road, Middletown, CT 06455-4448 (US).
- (72) Inventor: HILL, Henry, Allen; 340 South Avenida de Palmas, Tucson, AZ 85716 (US).

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

(54) Title: TILTED INTERFEROMETER



(57) Abstract: The invention comprises methods and apparatus (10) for reducing sub-harmonic cyclic errors by rotating by a small angle ( $\theta$ ) an interferometer or elements thereof (45). The rotation of the interferometer or selective elements thereof (45) introduces a corresponding small angle between a sub-harmonic type spurious beam that subsequently interferes with either the reference or measurement beam so that the fringe contrast of the interference terms between the subharmonic spurious beam and either the reference or measurement beam is reduced by a required factor for a given use application thereby reducing nonlinearities in the phase signal.

WO 03/019109 A1

**TITLE: TILTED INTERFEROMETER****BACKGROUND OF THE INVENTION**

This invention in general relates to interferometers, e.g., displacement measuring and dispersion interferometers that measure displacements of a measurement object such as a mask stage or a wafer stage in a lithography scanner or stepper system, and also interferometers that monitor wavelength and determine intrinsic properties of gases. More particularly, it relates to optical means by which cyclic errors that would otherwise be present in the signals generated in such interferometers can be acceptably reduced or substantially eliminated.

Displacement measuring interferometers monitor changes in the position and orientation of a measurement object relative to a reference object based on an optical interference signal. The interferometer generates the optical interference signal by overlapping and interfering a measurement beam reflected from the measurement object with a reference beam reflected from the reference object.

In many applications, the measurement and reference beams have orthogonal polarizations and different frequencies. The different frequencies can be produced, for example, by laser Zeeman splitting, acousto-optical modulation, or internal to the laser using birefringent elements, or the like. The orthogonal polarizations allow a polarizing beam splitter to direct the measurement and reference beams to the measurement and reference objects, respectively, and combine the reflected measurement and reference beams to form overlapping exit measurement and reference beams. The overlapping exit beams form an output beam that subsequently passes through a polarizer. The polarizer mixes polarizations of the exit measurement and reference beams to form a mixed optical beam. Components of the exit measurement and reference beams in the mixed optical beam interfere with one another so that the intensity of the mixed beam varies with the relative phase of



the exit measurement and reference beams. A detector measures the time-dependent intensity of the mixed beam and generates an electrical interference signal proportional to that intensity. When the measurement and reference beams have different frequencies, the electrical interference signal includes a "heterodyne" signal having a beat frequency equal to the difference between the frequencies of the exit measurement and reference beams. If the lengths of the measurement and reference paths are changing relative to one another, e.g., by translating a stage that includes the measurement object, the measured beat frequency includes a Doppler shift equal to  $2vnpL/\lambda$ , where  $v$  is the relative speed of the measurement and reference objects,  $\lambda$  is the wavelength of the measurement and reference beams,  $n$  is the refractive index of the medium through which the light beams travel, e.g., air or vacuum, and  $p$  is the number of passes to the reference and measurement objects. Changes in the relative position of the measurement object correspond to changes in the phase of the measured interference signal, with a  $2\pi$  phase change substantially equal to a distance change  $L$  of  $\lambda/(np)$ , where  $L$  is a round-trip distance change, e.g., the change in distance to and from a stage that includes the measurement object.

Unfortunately, this equality is not always exact. Many interferometers include nonlinearities such as those known as "cyclic errors." The cyclic errors can be expressed as contributions to the phase and/or the intensity of the measured interference signal and have a sinusoidal dependence on the change in optical path length  $pnkL$ . In particular, the first order cyclic error in phase has a sinusoidal dependence on  $(2\pi pnL)/\lambda$  and the second order cyclic error in phase has a sinusoidal dependence on  $(2\pi pnL)/\lambda$ . Higher order cyclic errors can also be present.

Cyclic errors can be produced by "beam mixing," in which a portion of an input beam that nominally forms the reference beam propagates along the measurement path and/or a portion of an input beam that nominally forms the measurement beam propagates along the reference path. Such beam mixing can be caused by ellipticity in the polarizations of the input beams and imperfections in the interferometer components, e.g., imperfections in a polarizing beam splitter used to direct orthogonally polarized input beams along respective reference and measurement

paths. Because of beam mixing and the resulting cyclic errors, there is not a strictly linear relation between changes in the phase of the measured interference signal and the relative optical path length,  $\Delta L$ , between the reference and measurement paths.

If not compensated, eliminated or acceptably reduced, cyclic errors caused by beam mixing can limit the accuracy of distance changes measured by an interferometer. 5  
Cyclic errors can also be produced by imperfections in transmissive surfaces that produce undesired multiple reflections within the interferometer and imperfections in components such as retroreflectors and/or phase retardation plates that produce undesired ellipticities in beams in the interferometer. For a general reference on the 10  
theoretical cause of cyclic error, see, for example, C. W. Wu and R. D. Deslattes, "Analytical modelling of the periodic nonlinearity in heterodyne interferometry," Applied Optics, 37, 6696-6700, 1998.

In dispersion measuring applications, optical path length measurements are made at multiple wavelengths, e.g., 532 nm and 1064 nm, and are used to measure 15  
dispersion of a gas in the measurement path of the distance measuring interferometer. The dispersion measurement can be used to convert the optical path length measured by a distance measuring Interferometer into a physical length. Such a conversion can be important since changes in the measured optical path length can be caused by gas turbulence and/or by a change in the average density of the gas in 20  
the measurement arm even though the physical distance to the measurement object is unchanged. In addition to the extrinsic dispersion measurement, the conversion of the optical path length to a physical length requires knowledge of an intrinsic value of the gas. The factor  $\Gamma$  is a suitable intrinsic value and is the reciprocal dispersive power of the gas for the wavelengths used in the dispersion interferometry. The 25  
factor  $\Gamma$  can be measured separately or based on literature values. Cyclic errors in the interferometer also contribute to dispersion measurements and measurements of the factor  $\Gamma$ . In addition, cyclic errors can degrade Interferometric measurements used to measure and/or monitor the wavelength of a beam.

Systems and methods have been provided for identifying, quantifying and 30  
compensating for cyclic errors as, for example, those described in United States Patent No. 6,246,481 issued on June 12, 2001 in the name of Henry A. Hill for "SYSTEMS AND METHODS FOR QUANTIFYING NONLINEARITIES IN INTERFEROMETRY SYSTEMS." Such systems and methods rely on the

implementation of various algorithms via high speed electronics to operate.

Accordingly, it is a primary object of the present invention to provide a simple optical solution for substantially eliminating and/or reducing cyclic errors in interferometer systems.

5 It is another object of the present invention to provide an optical solution to the elimination and/or reduction of cyclic errors in interferometer systems to relieve the burden that would otherwise be placed on associated electronics.

It is still another object of the present invention to provide an optical solution to the elimination and/or reduction of cyclic errors to reduce the accuracy or requirements imposed on the various components of interferometry systems.

10 Other objects of the invention will, in part, be obvious and will, in part, appear hereinafter when the description to follow is read in conjunction with the drawings.

#### SUMMARY OF THE INVENTION

15 The invention comprises methods and apparatus for reducing subharmonic cyclic errors by rotating by a small angle an interferometer or elements thereof. The rotation of the interferometer or selective elements thereof introduces a corresponding small angle between a subharmonic type spurious beam that subsequently interferes with either the reference or measurement beam so that the fringe contrast of the interference terms between the subharmonic spurious beam and either the reference or measurement beam is reduced by a required factor for a given use application thereby reducing nonlinearities in the phase signal. A subharmonic type spurious beam is one that results in a subharmonic cyclic error if not otherwise compensated or eliminated.

25

#### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

The structure, operation, and methodology of the invention, together with other objects and advantages thereof, may best be understood by reading the detailed description in conjunction with the drawings in which each part has an assigned numeral that identifies it wherever it appears in the various drawings and wherein:

30 Fig. 1 is a diagrammatic plan view of a differential plane mirror interferometer (DPMI) system of the type in which cyclic errors may be present;

Fig. 2 is a graph showing diagrammatically how the phase signal in a distance measuring interferometer (DMI) may change with measured distance when at least one source of cyclic error is present having periodic characteristics;

Fig. 3 is a graph of the square root of the power spectrum of the detector signal which includes at least one undesirable cyclic error term;

Figs. 4 through 11 are diagrammatic illustrations of stage mirror dependent cyclic errors that can be present in a high stability plane mirror interferometer (HSPMI);

Figs. 12 through 15 are diagrammatic illustrations of stage mirror dependent cyclic errors that can be present in the HSPMI of Figs. 4 through 11 when the exit mirror of laser is optically aligned with another conjugate surface in the interferometer;

Figs. 16 and 17 are diagrammatic illustrations of birefringence dependent cyclic errors that can be present in the HSPMI of Figs. 4 through 15;

Fig. 18 shows the DPMI system of Fig. 1 with various components tilted to substantially eliminate and/or reduce cyclic errors;

Fig. 19 is a graph similar to that of Fig. 3 illustrating the removal of significant cyclic errors as a result of tilting various components of the DPMI as shown in Fig. 18;

Fig. 20 is a diagrammatic representation of a solution for the substantial elimination of subharmonic cyclic errors by tilting the HSPMI interferometer appearing in Figs. 4 through 17;

Fig. 21 is a diagrammatic representation of another solution for the substantial elimination of subharmonic cyclic errors by tilting certain elements of the HSPMI interferometer appearing in Figs. 4 through 17;

Figs. 22-25 relate to lithography and its application to manufacturing integrated circuits wherein Fig. 22 is a schematic drawing of a lithography exposure system employing the interferometry system;

Figs. 23 and 24 are flow charts describing steps in manufacturing integrated circuits; and

Fig. 25 is a schematic of a beam writing system employing the interferometry system.

#### DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

The present invention generally relates to apparatus and methods for reducing subharmonic cyclic errors by rotating or tilting by a small angle an interferometer or elements thereof. The rotation of the interferometer or selective elements thereof introduces a corresponding small angle between a subharmonic type spurious beam that subsequently interferes with either the reference or measurement beam so that the fringe contrast of the interference terms between the subharmonic spurious beam and either the reference or measurement beam is reduced by a required factor for a given use application thereby reducing nonlinearities in the phase signal.

A subharmonic type spurious beam is one that results in a subharmonic cyclic error if not otherwise compensated or eliminated. As will be seen, cyclic errors may be generated in commonly used interferometer systems by: (1) polarization mixing in laser source; (2) polarization mixing in interferometers; (3) retardation plate optical effects; (4) stage mirror optical effects; (5) ghost reflections; (6) nonlinearities in analog circuits; (7) aliasing in digital electronics; and (8) electronic mixing. The two potential types of cyclic errors with which the present invention is concerned comprise stage mirror orientation dependent cyclic errors and stage mirror orientation independent cyclic errors. To understand how such cyclic errors can arise, a typical DPML will first be described having a phase signal containing at least one cyclic error component. Then the square root of the signal power spectrum out of the DPML detector will be shown to illustrate cyclic errors in the detector signal. This will be followed by illustrations of various types of cyclic error contributors along with their magnitudes. Finally, the inventive solution for substantially eliminating and/or acceptably reducing cyclic errors will be described.

Reference will now be made to Fig. 1 which shows a differential plane mirror interferometer (DPML) system 10. System 10 comprises a source 12, polarizing beam splitter 16, and reflector 20. Source 12 generates a beam 14 comprising two orthogonally polarized components having a difference in frequencies,  $f$ . A source of input beam 14 such as a laser can be any of a variety of frequency modulation apparatus and/or lasers. For example, the laser can be a gas laser, e.g., a HeNe laser, stabilized in any of a variety of conventional techniques known to those skilled in the art, see for example, T. Baer *et al.*, "Frequency Stabilization of a 0.633  $\mu\text{m}$  He-Ne-longitudinal Zeeman Laser," *Applied Optics*, 19, 3173-3177 (1980); Burgwald *et*

- al., U.S. Pat. No. 3,889,207, issued June 10, 1975; and Sandstrom *et al.*, U.S. Pat. No. 3,662,279, issued May 9, 1972. Alternatively, the laser can be a diode laser frequency stabilized in one of a variety of conventional techniques known to those skilled in the art, see for example, T. Okoshi and K. Kikuchi, "Frequency Stabilization of Semiconductor Lasers for Heterodyne-type Optical Communication Systems," *Electronic Letters*, 16, 179-181 (1980) and S. Yamaguchi and M. Suzuki, "Simultaneous Stabilization of the Frequency and Power of an AlGaAs Semiconductor Laser by Use of the Optogalvanic Effect of Krypton," *IEEE J. Quantum Electronics*, QE-19, 1514-1519 (1983).
- Two optical frequencies may be produced by one of the following techniques:
- (1) use of a Zeeman split laser, see for example, Bagley *et al.*, U.S. Patent No. 3,458,259, issued July 29, 1969; G. Bouwhuis, "Interferometrie Mit Gaslasers," *Ned. T. Natuurk.*, 34, 225-232 (Aug. 1968); Bagley *et al.*, U.S. Patent No. 3,656,853, issued April 18, 1972; and H. Matsumoto, "Recent Interferometric measurements using stabilized lasers," *Precision Engineering*, 6(2), 87-94 (1984);
  - (2) use of a pair of acousto-optical Bragg cells, see for example, Y. Ohtsuka and K. Itoh, "Two-frequency Laser Interferometer for Small Displacement Measurements in a Low Frequency Range," *Applied Optics*, 18(2), 219-224 (1979); N. Massie *et al.*, "Measuring Laser Flow Fields With a 64-Channel Heterodyne Interferometer," *Applied Optics*, 22(14), 2141-2151 (1983); Y. Ohtsuka and M. Tsubokawa, "Dynamic Two-frequency Interferometry for Small Displacement Measurements," *Optics and Laser Technology*, 16, 25-29 (1984); H. Matsumoto, *ibid.*; P. Dirksen, *et al.*, U.S. Patent No. 5,485,272, issued Jan. 16, 1996; N. A. Riza and M. M. K. Howlader, "Acousto-optic system for the generation and control of tunable low-frequency signals," *Opt. Eng.*, 35(4), 920-925 (1996);
  - (3) use of a single acousto-optic Bragg cell, see for example, G. E. Sommargren, commonly owned U.S. Pat. No. 4,684,826, issued Aug. 4, 1987; G. E. Sommargren, commonly owned U.S. Pat. No. 4,687,958, issued Aug. 18, 1987; P. Dirksen, *et al.*, *ibid.*;
  - (4) use of two longitudinal modes of a randomly polarized HeNe laser, see for example, J. B. Ferguson and R. H. Morris, "Single Mode Collapse in 6328 Å HeNe Lasers," *Applied Optics*, 17(18), 2924-2929 (1978);
  - (5) use of birefringent elements or the like internal to the laser, see for example, V. Evtuhov and A. E. Siegman, "A 'Twisted-Mode' Technique for Obtaining Axially Uniform Energy Density in a Laser Cavity," *Applied Optics*, 4(1), 142-143 (1965); or the use of the systems described in U.S. Pat. Application with Serial No. 09/061,928 filed 4/17/98

entitled "Apparatus to Transform Two Non-Parallel Propagating Optical Beam Components into Two Orthogonally Polarized Beam Components" by H. A. Hill, the contents of which are incorporated herein by reference.

5 The specific device used for the source of beam 12 will determine the diameter and divergence of beam 12. For some sources, e.g., a diode laser, it will likely be necessary to use conventional beam shaping optics, e.g., a conventional microscope objective, to provide beam 12 with a suitable diameter and divergence for elements that follow. When the source is a HeNe laser, for example, beam-shaping optics may not be required.

10 Beam 14 is separated into its polarized beam components by polarizing beam splitter 16 which transmits p-polarized component of beam 14 (indicated by the vertical arrow) as polarized beam 18 while reflecting its orthogonally, s-polarized component to reflector 20 that, in turn, directs it to a half-wave plate 24 as s-polarized beam component 22 (indicated by the black circular dot). Beam 22 is converted by  
15 half-wave plate 24 to a p-polarized beam component 25 thus having the same state of polarization as p-polarized beam component 18.

Both p-polarized beam components 18 and 25 enter a polarizing beam splitter 26 having a polarizing beam splitting layer 28 which transmits both for further downstream travel. Beam component 25 proceeds to a reference mirror 34 via a  
20 quarter-wave plate 30, reflects from the reference mirror 34, and in the process of traveling back through quarter-wave plate 30 the second time, has its state of polarization changed so that it is now s-polarized again. Afterwards, beam component 25 proceeds to retroreflector 36 from which it is directed to beam splitter layer 28. Beam component 25 is reflected from beam splitter layer 28 to travel to  
25 reference mirror 34 again via quarter-wave plate 30; this being its second pass to reference mirror 34. Upon reflection from reference mirror 34, beam 25 again passes through quarter-wave plate 30 to become a p-polarized beam component whereby it is transmitted by beam splitter layer 28 to become p-polarized reference beam component 27.

30 In similar fashion, p-polarized beam component 18 makes a double pass to object mirror 32 and is returned as p-polarized measurement beam component 29. Reference beam component 27 and measurement beam component 29 are combined for travel along the same path as optical beam 41 which contains phase information

about the optical path difference over which the reference and measurement beams traveled to and from the and object and reference mirrors, 32 and 34, respectively.

Optical beam 41 is passed to a detector 42 that converts it to an electrical signal 43 that, in turn, is passed to a phase analyzer 44. Phase information is extracted from electrical signal 43 by phase analyzer 44 and is thereafter sent to a computer 47 that is programmed with suitable software containing algorithms for relating the phase information to the physical path length between the reference and object mirrors. Computer 47 also handles general housekeeping functions, serves as an operator interface, and generates output data in graphical and digital formats. It will be recognized that computer 47 may also perform the phase analysis directly on electrical signal 43.

A diagrammatic graphical relationship generated by computer 47 is shown in Fig. 2 as curve 46 that relates DMI phase to physical distance. Curve 46 is shown in exaggerated fashion to illustrate that it contains undesirable nonlinearities having a periodic characteristic because of the presence of cyclic errors. It will be appreciated that, in practice, curve 46 is typically more complex since it may contain a plurality of cyclic errors at once.

To understand the source of the nonlinearities in curve 46, it is useful to analyze power spectrum of the detector signal 43. This is seen as the curve of Fig. 3 showing amplitude versus frequency. More particularly, Fig. 3 shows the square root of the power spectrum of the signal out of the detector 42 where the interferometer is, again, a differential plane mirror interferometer (DPMI) as described.

In Fig. 3, peak 1 is the primary, i.e., the desired peak. Peak 2 is a half harmonic cyclic error term and peak 3 is a third harmonic of a half harmonic cyclic error term. The amplitudes of peaks 2 and 3 are 4 nm and 2 nm, respectively. The next largest amplitude peaks, 4, 5, and 6 are not associated with subharmonic cyclic errors. The amplitudes of peaks 4, 5, and 6 are 1.2 nm, 0.6 nm, and 0.1 nm, respectively.

Sources of peaks 4 and 5 are, for example, leakage at the polarizing beam splitter 26 in the DPMI and polarization mixing in the source 12. The sources of peaks 2 and 3 comprise one or more of the sources of the subharmonic cyclic errors listed hereinabove. The frequency scale is normalized to the Nyquist frequency. The frequency of peak 4 corresponds to the normalized split frequency 0.4 of the input beam and the frequency of peak 5 corresponds to the normalized Doppler shift



frequency of 0.1. The frequency of peak 1 is down-shifted to a normalized frequency 0.3 by the Doppler shift frequency 0.1 from the normalized split frequency at 0.4.

As will be seen hereinafter, peaks 2 and 3 are eliminated by a rotation of the interferometer 10 or one or more of its elements by 0.001 radians for a beam diameter of 5mm, it being understood that the required small angle of rotation or tilt is at least in part dependent on the diameter of the input beam.

To understand the physical sources for the presence of various cyclic error components or subharmonics thereof in the power spectrum of Fig. 3, reference will now be made to Figs. 4 through 11 which are diagrammatic illustrations of stage mirror dependent cyclic errors that can be present in a high stability plane mirror interferometer (HSPMI). The amplitudes of stage mirror orientation dependent cyclic errors are generally the larger of the two types of cyclic errors.

Referring now to Fig. 4, there is shown a high stability plane mirror interferometer (HSPMI) system 50. An input beam 52 is provided in the usual way with orthogonally polarized beam components with frequencies  $f_1$  and  $f_2$  indicated by the dash-dot-dot and short dashed lines, respectively. System 50 has as major components polarizing beam splitter 54 with polarizing beam splitter layer 56; a retroreflector 58; quarter-wave plate 62; reference mirror 64; quarter-wave plate 60; moving stage 66 with attached object mirror 68; and steering wedges 70 and 72, which may or may not be present but have been included here for alignment purposes.

As is usual, the polarized components of input beam 52 are split at the polarizing beam splitter layer 56 on the basis of their linear polarization state; one to travel twice to the reference mirror 64 and one to make a double pass to the object mirror 68 before being combined to provide the main output beam 74. However, in this case, the reference beam after having traveled once to the retroreflector 58 has its state of polarization changed slightly, but enough, to partially travel through the polarizing beam splitter layer 56 to reflect off the stage mirror 68 and be combined as a ghost beam 76 as an interfering component in main beam 74, thus becoming a cyclic error contributor due to polarization mixing caused by a polarization shift induced by the retroreflector. It will be appreciated that in this figure and those to follow that the path of the ghost beams has been greatly exaggerated for purposes of explanation but, in practice, actually overlap with the main beam. The subsequent

subharmonic cyclic error term appears when the reference mirror surface is optically aligned with the stage mirror 68 and can have an amplitude from 2.5 to 5.0 nm.

Fig. 5 is similar to Fig. 4 where all the same components carry the same numerical identity, as will be the case throughout. However, the cyclic error here arises because of polarization mixing due to a slight polarization shift of the object beam by the retroreflector 58 to cause ghost beam 78 that mixes with the reference and measurement beams at the detector. Again, the subsequent subharmonic cyclic error term appears when the reference mirror 64 and object mirror 68 are optically aligned and can be from 2.5 to 5.0 nm in amplitude.

In Fig. 6, a ghost beam 80 is generated as the result of a reflection off surface  $S_1$  of quarter-wave plate 60. The component reflected from surface  $S_1$  is polarized such that it can travel to the object mirror 68 prior to becoming a component in main beam 74. The amplitude of the subsequent cyclic error term can be from 1.5 to 3.0 nm.

Fig. 7 is similar to Fig. 6, except that a ghost beam 82 has as its origins an initial reflection off surface  $S_2$  of steering wedge 72. The amplitude of the subsequent cyclic error term can be from 1.5 to 3.0 nm.

Fig. 8 is similar to Figs. 6 and 7, except that a ghost beam 84 has as its origins a reflection from surface  $S_3$  of steering wedge 70. The amplitude of the subsequent cyclic error term can be from 1.5 to 3.0 nm.

In Fig. 9, a ghost beam 86 is generated having as a source a reflection of the measurement beam from surface  $S_4$  of quarter-wave plate 60. The amplitude of the subsequent cyclic error term can be from 1.5 to 3.0 nm.

In Fig. 10, a ghost beam 88 is generated as the result of a reflection of the measurement beam from surface  $S_5$  of steering wedge 72. The amplitude of the subsequent cyclic error term can be from 1.5 to 3.0 nm.

In Fig. 11, a ghost beam 90 is generated as the result of a reflection of the measurement beam from surface  $S_6$  of steering wedge 70. The amplitude of the subsequent cyclic error term can be from 1.5 to 3.0 nm.

Reference is now made to Figs. 12 through 15 which illustrate stage mirror dependent cyclic errors that arise when a reflecting surface from the exit mirror of the source laser cavity is optically aligned with a conjugate surface in the interferometer. In these figures, the laser cavity exit mirror is designated as 84.

In Fig. 12, a ghost beam 98 is generated having as a source a reflection of the measurement beam from surface  $S_7$  of steering wedge 70. The ghost beam here makes three passes to the object mirror 68 and one to the rear surface of the laser mirror 94. The subharmonic cyclic error term can have an amplitude from 0.6 to 1.2 nm.

Fig. 13 is similar to Fig. 12 in that a ghost beam 98 is generated as the result of the initial reflection of the measurement beam from surface  $S_9$  of polarizing beam splitter 54. The subharmonic cyclic error term can have an amplitude from 0.6 to 1.2 nm.

In Fig. 14, a ghost beam 100 is generated as the result of an initial reflection of the measurement beam from surface  $S_9$  of quarter-wave plate 60. The subharmonic cyclic error term can have an amplitude from 0.6 to 1.2 nm.

In Fig. 15, a ghost beam 102 is generated as the result of an initial reflection of the measurement beam from surface  $S_{10}$  of polarizing beam splitter 54. The subharmonic cyclic error term can have an amplitude from 0.6 to 1.2 nm.

Figs. 16 and 17 illustrate the generation of ghost beams due to birefringence in the glass components comprising interferometer system 50. In Fig. 16, a ghost beam 104 is generated when the reference beam has its polarization changed due to birefringence such that part of it travels to the object mirror 68 and back for combination with the main beam 74. Subharmonic cyclic error terms can be from approximately 0.5 nm/10 mm path length in amplitude.

In Fig. 17, a ghost beam 106 is generated when birefringence causes a portion of the measurement beam to travel to the reference mirror 64 and back for combination in main beam 74. Subharmonic cyclic error terms can be from approximately 0.5 nm/10 mm path length in amplitude.

As will be appreciated, it is important to substantially eliminate or reduce the foregoing potential sources of cyclic errors since one or more be present at once, thus adding to substantial errors in distance measurement and or assessment of intrinsic optical properties. How this may be achieved will be understood by reference to Fig.

Fig. 18 illustrates the rotation or tilting of various components of interferometer system 10 to reduce or substantially eliminate cyclic errors that may otherwise be present in signal 43 from detector 42 previously illustrated in Fig. 3. As seen in Fig. 18, the components indicated by the dotted box 45 have been rotated by a small

angle,  $\theta$ , of 0.001 radians where the diameter of the input beam was 5mm. The effect of rotating these interferometer components is shown in Fig. 19 which is a power spectrum of amplitude versus frequency of the detector output signal similar to that of Fig. 3. As is readily apparent from an inspection of the curve of Fig. 19, it is seen that peaks 2 and 3 have been eliminated as compared with Fig. 3 where they were substantial sources of error, being 4 nm and 2 nm, respectively.

Rotation of the majority of the components comprising interferometer system 10 as shown in Fig. 18 is the preferred solution for substantially eliminating and/or reducing cyclic errors when it is not known which ghost beams may be present in a system or whether one more potential cyclic error sources may be acting in concert. However, one or more components may be beneficially rotated when the source of the cyclic error can be identified with a priori knowledge or experimentation.

Reference is now made to Fig. 20 which shows that, except for stage 66, all of the other components of interferometer system 50 have been rotated by a small angle of  $\approx 0.001$  radians so that any of the previously identified surface pairs cannot be parallel to thereby substantially eliminate and/or reduce cyclic errors.

Fig. 21 shows the opposite rotation in interferometer system 50 of quarter-wave plate 60 with respect to steering wedges 70 and 72 to achieve similar reductions in cyclic errors as was the case with the rotation illustrated with reference to Fig. 20. Here again, the angular rotation is  $\approx 0.001$  radians.

The major advantages achieved with this inventive approach is to reduce the need for more complex electronics to analyze and provide compensation for cyclic errors along with a relaxation on the requirements for accuracy.

The interferometry systems described above can be especially useful in lithography applications used for fabricating large scale integrated circuits such as computer chips and the like. Lithography is the key technology driver for the semiconductor manufacturing industry. Overlay improvement is one of the five most difficult challenges down to and below 100 nm line widths (design rules), see for example the *Semiconductor Industry Roadmap*, p82 (1997). Overlay depends directly on the performance, i.e. accuracy and precision, of the distance measuring interferometers used to position the wafer and reticle (or mask) stages. Since a lithography tool may produce \$50-100M/year of product, the economic value from improved performance distance measuring interferometers is substantial. Each 1% increase in yield of the lithography tool results in approximately \$1M/year economic

benefit to the integrated circuit manufacturer and substantial competitive advantage to the lithography tool vendor.

The function of a lithography tool is to direct spatially patterned radiation onto a photoresist-coated wafer. The process involves determining which location of the  
5 wafer is to receive the radiation (alignment) and applying the radiation to the photoresist at that location (exposure).

To properly position the wafer, the wafer includes alignment marks on the wafer that can be measured by dedicated sensors. The measured positions of the alignment marks define the location of the wafer within the tool. This information,  
10 along with a specification of the desired patterning of the wafer surface, guides the alignment of the wafer relative to the spatially patterned radiation. Based on such information, a translatable stage, such as stage 66 of system 50, supporting the photoresist-coated wafer moves the wafer such that the radiation will expose the correct location of the wafer.

15 During exposure, a radiation source illuminates a patterned reticle, which scatters the radiation to produce the spatially patterned radiation. The reticle is also referred to as a mask, and these terms are used interchangeably below. In the case of reduction lithography, a reduction lens collects the scattered radiation and forms a reduced image of the reticle pattern. Alternatively, in the case of proximity printing,  
20 the scattered radiation propagates a small distance (typically on the order of microns) before contacting the wafer to produce a 1:1 image of the reticle pattern. The radiation initiates photo-chemical processes in the photoresist that convert the radiation pattern into a latent image within the photoresist.

The interferometry systems described above are important components of the  
25 positioning mechanisms that control the position of the wafer and reticle, and register the reticle image on the wafer.

In general, the lithography system, also referred to as an exposure system, typically includes an illumination system and a wafer positioning system. The illumination system includes a radiation source for providing radiation such as  
30 ultraviolet, visible, x-ray, electron, or ion radiation, and a reticle or mask for imparting the pattern to the radiation, thereby generating the spatially patterned radiation. In addition, for the case of reduction lithography, the illumination system can include a lens assembly for imaging the spatially patterned radiation onto the wafer. The imaged radiation exposes photoresist coated onto the wafer. The illumination system

also includes a mask stage for supporting the mask and a positioning system for adjusting the position of the mask stage relative to the radiation directed through the mask. The wafer positioning system includes a wafer stage for supporting the wafer and a positioning system for adjusting the position of the wafer stage relative to the imaged radiation. Fabrication of integrated circuits can include multiple exposing steps. For a general reference on lithography, see, for example, J. R. Sheats and B. W. Smith, in *Microolithography: Science and Technology* (Marcel Dekker, Inc., New York, 1998), the contents of which are incorporated herein by reference.

The interferometry systems described above can be used to precisely measure the positions of each of the wafer stage and mask stage relative to other components of the exposure system, such as the lens assembly, radiation source, or support structure. In such cases, the interferometry system can be attached to a stationary structure and the measurement object attached to a movable element such as one of the mask and wafer stages. Alternatively, the situation can be reversed, with the interferometry system attached to a movable object and the measurement object attached to a stationary object.

More generally, the interferometry systems can be used to measure the position of any one component of the exposure system relative to any other component of the exposure system in which the interferometry system is attached, or supported by one of the components and the measurement object is attached, or is supported by the other of the components.

An example of a lithography scanner 100 using an interferometry system 128 is shown in Fig. 22. The interferometry system is used to precisely measure the position of a wafer within an exposure system. Here, stage 122 is used to position the wafer relative to an exposure station. Scanner 100 comprises a frame 102, which carries other support structures and various components carried on those structures. An exposure base 104 has mounted on top of it a lens housing 106 atop of which is mounted a reticle or mask stage 116 used to support a reticle or mask. A positioning system for positioning the mask relative to the exposure station is indicated schematically by element 117. Positioning system 117 can include, e.g., piezoelectric transducer elements and corresponding control electronics. Although, it is not included in this described embodiment, one or more of the interferometry systems described above can also be used to precisely measure the position of the mask stage as well as other moveable elements whose position must be accurately

monitored in processes for fabricating lithographic structures (see *supra* Sheats and Smith Micro lithography: Science and Technology).

Suspended below exposure base 104 is a support base 113 that carries wafer stage 122. Stage 122 includes a plane mirror for reflecting a measurement beam 154 directed to the stage by Interferometry system 126. A positioning system for positioning stage 122 relative to interferometry system 126 is indicated schematically by element 119. Positioning system 119 can include, e.g., piezoelectric transducer elements and corresponding control electronics. The measurement beam reflects back to the interferometry system, which is mounted on exposure base 104. The Interferometry system can be any of the embodiments described previously.

During operation, a radiation beam 110, e.g., an ultraviolet (UV) beam from a UV laser (not shown), passes through a beam shaping optics assembly 112 and travels downward after reflecting from mirror 114. Thereafter, the radiation beam passes through a mask (not shown) carried by mask stage 116. The mask (not shown) is imaged onto a wafer (not shown) on wafer stage 122 via a lens assembly 108 carried in a lens housing 106. Base 104 and the various components supported by it are isolated from environmental vibrations by a damping system depicted by spring 120.

In other embodiments of the lithographic scanner, one or more of the Interferometry systems described previously can be used to measure distance along multiple axes and angles associated for example with, but not limited to, the wafer and reticle (or mask) stages. Also, rather than a UV laser beam, other beams can be used to expose the wafer including, e.g., x-ray beams, electron beams, ion beams, and visible optical beams.

In addition, the lithographic scanner can include a column reference in which Interferometry system 126 directs the reference beam to lens housing 106 or some other structure that directs the radiation beam rather than a reference path internal to the Interferometry system. The interference signal produced by interferometry system 126 when combining measurement beam 154 reflected from stage 122 and the reference beam reflected from lens housing 106 indicates changes in the position of the stage relative to the radiation beam. Furthermore, in other embodiments the interferometry system 126 can be positioned to measure changes in the position of reticle (or mask) stage 116 or other movable components of the scanner system.

Finally, the interferometry systems can be used in a similar fashion with lithography systems involving steppers, in addition to, or rather than, scanners.

As is well known in the art, lithography is a critical part of manufacturing methods for making semiconducting devices. For example, U.S. Patent 5,483,343 outlines steps for such manufacturing methods. These steps are described below with reference to Figs. 23 and 24. Fig. 23 is a flow chart of the sequence of manufacturing a semiconductor device such as a semiconductor chip (e.g. IC or LSI), a liquid crystal panel or a CCD. Step 251 is a design process for designing the circuit of a semiconductor device. Step 252 is a process for manufacturing a mask on the basis of the circuit pattern design. Step 253 is a process for manufacturing a wafer by using a material such as silicon.

Step 254 is a wafer process which is called a pre-process wherein, by using the so prepared mask and wafer, circuits are formed on the wafer through lithography. Step 255 is an assembling step, which is called a post-process wherein the wafer processed by step 254 is formed into semiconductor chips. This step includes assembling (dicing and bonding) and packaging (chip sealing). Step 256 is an inspection step wherein operability check, durability check, and so on of the semiconductor devices produced by step 255 are carried out. With these processes, semiconductor devices are finished and they are shipped (step 257).

Fig. 24 is a flow chart showing details of the wafer process. Step 261 is an oxidation process for oxidizing the surface of a wafer. Step 262 is a CVD process for forming an insulating film on the wafer surface. Step 263 is an electrode forming process for forming electrodes on the wafer by vapor deposition. Step 264 is an ion implanting process for implanting ions to the wafer. Step 265 is a photoresist process for applying a photoresist (photosensitive material) to the wafer. Step 266 is an exposure process for printing, by exposure, the circuit pattern of the mask on the wafer through the exposure apparatus described above. Step 267 is a developing process for developing the exposed wafer. Step 268 is an etching process for removing portions other than the developed photoresist image. Step 269 is a photoresist separation process for separating the photoresist material remaining on the wafer after being subjected to the etching process. By repeating these processes, circuit patterns are formed and superimposed on the wafer.

The interferometry systems described above can also be used in other applications in which the relative position of an object needs to be measured



precisely. For example, in applications in which a write beam such as a laser, x-ray, ion, or electron beam, marks a pattern onto a substrate as either the substrate or beam moves, the interferometry systems can be used to measure the relative movement between the substrate and write beam.

5 As an example, a schematic of a beam writing system 300 is shown in Fig. 23. A source 310 generates a write beam 312, and a beam focusing assembly 314 directs the radiation beam to a substrate 316 supported by a movable stage 318. To determine the relative position of the stage, an interferometry system 320 directs a reference beam 322 to a mirror 324 mounted on beam focusing assembly 314 and a  
10 measurement beam 326 to a mirror 328 mounted on stage 318. Interferometry system 320 can be any of the interferometry systems described previously. Changes in the position measured by the interferometry system correspond to changes in the relative position of write beam 312 on substrate 316. Interferometry system 320 sends a measurement signal 332 to controller 330 that is indicative of the relative  
15 position of write beam 312 on substrate 316. Controller 330 sends an output signal 334 to a base 336 that supports and positions stage 318. In addition, controller 330 sends a signal 338 to source 310 to vary the intensity of, or block, write beam 312 so that the write beam contacts the substrate with an intensity sufficient to cause photophysical or photochemical change only at selected positions of the substrate.  
20 Furthermore, in some embodiments, controller 330 can cause beam focusing assembly 314 to scan the write beam over a region of the substrate, e.g., using signal 344. As a result, controller 330 directs the other components of the system to pattern the substrate. The patterning is typically based on an electronic design pattern stored in the controller. In some applications the write beam patterns a photoresist coated  
25 on the substrate and in other applications the write beam directly patterns, e.g., etches, the substrate.

An important application of such a system is the fabrication of masks and reticles used in the lithography methods described previously. For example, to fabricate a lithography mask an electron beam can be used to pattern a chromium-coated glass substrate. In such cases where the write beam is an electron beam, the  
30 beam writing system encloses the electron beam path in a vacuum. Also, in cases where the write beam is, e.g., an electron or ion beam, the beam focusing assembly includes electric field generators such as quadrupole lenses for focusing and directing the charged particles onto the substrate under vacuum. In other cases where the

WO 03/019109

PCT/US02/25898

write beam is a radiation beam, e.g., x-ray, UV, or visible radiation, the beam focusing assembly includes corresponding optics for focusing and directing the radiation to the substrate.

Yet other changes may be made to the invention. For example, it may be desirable in certain applications to monitor the refractive index of the gas contained on both the reference and in the measurement legs of the interferometer. Examples include the well-known column reference style of interferometer, in which the reference leg comprises a target optic placed at one position within a mechanical system, and the measurement leg comprises a target optic placed at a different position within the same mechanical system. Another example application relates to the measurement of small angles, for which both the measurement and reference beams impinge upon the same target optic but at a small physical offset, thereby providing a sensitive measure of the angular orientation of the target optic. These applications and configurations are well known to those skilled in the art and the necessary modifications are intended to be within the scope of the invention.

Based on the teachings and embodiments described hereinabove, other variations of the invention will be apparent to those skilled in the relevant art and such variations are intended to be within the scope of the claimed invention.

WO 03/019109

PCT/US02/25898

What is claimed is:

- 1           1. Polarization interferometric apparatus, said apparatus comprising  
2 interferometer means for receiving at least two beams and providing first and second  
3 measurement legs, separating said two beams for travel along said first and second  
4 measurement legs, respectively, and generating exit beams containing information  
5 about the respective differences in the optical paths each beam experienced in  
6 travelling said first and second measurement legs, said first and second measurement  
7 legs having optical paths structured and arranged such that at least one of them has a  
8 variable physical length, the optical path length difference between said first and  
9 second measurement legs varying in accordance with the difference between the  
10 respective physical lengths of their optical paths and wherein at least one of said first  
11 and second measurement legs comprises selectively tilted elements for substantially  
12 eliminating and reducing subharmonic cyclic error contributions that may otherwise  
13 overlap and interfere with interfering components in said exit beams.
- 1           2. The polarization interferometric apparatus of claim 1 further including  
2 means for combining said exit beams to produce mixed optical signals containing  
3 information corresponding to the phase differences between each of said exit beams  
4 from corresponding ones of said predetermined optical paths of said first and second  
5 measurement legs.
- 1           3. The polarization interferometric apparatus of claim 2 further including  
2 means for detecting said mixed optical signals and generating electrical interference  
3 signals containing information corresponding to difference in physical path lengths of  
4 said measurement legs and their relative rate of change.
- 1           4. The polarization interferometric apparatus of claim 3 further including  
2 electronic means for analyzing said electrical interference signals.
- 1           5. The polarization interferometric apparatus of claim 1 wherein said  
2 interferometer means comprises at least one polarizing beam splitter for separating  
3 orthogonally polarized beams for travel along corresponding ones of said first and  
4 second measurement legs.

WO 03/019109

PCT/US02/25898

1           6. The polarization interferometric apparatus of claim 1 wherein said  
2 interferometer means comprises at least one plane mirror in one of said measurement  
3 legs.

1           7. The polarization interferometric apparatus of claim 1 wherein said beams  
2 travel along a coextensive path.

8. The polarization interferometric apparatus of claim 1 comprising a plurality  
of optical components including a polarizing beam splitter having a plurality of faces, a  
first fixed plane mirror arranged substantially parallel to one of said faces, a first  
quarter-wave plate located intermediate said first plane mirror and said one face, a  
second movable plane mirror arranged substantially parallel to another of said faces,  
a moveable stage carrying a plane object mirror, said plurality of optical components  
other than stage and plane object mirror being tilted by a small angle with respect to  
said stage and plane object mirror.

9. The polarization interferometric apparatus of claim 8 wherein said  
interferometer is arranged so that said orthogonally polarized beams make a double  
pass therethrough.

1           10. The polarization interferometric apparatus of claim 1 further including a  
2 microlithographic means operatively associated with said polarization interferometric  
3 apparatus for fabricating wafers, said microlithographic means comprising:  
4           at least one stage for supporting a wafer;  
5           an illumination system for imaging spatially patterned radiation onto the wafer;  
6           and  
7           a positioning system for adjusting the position of said at least one stage  
8 relative to the imaged radiation;  
9           wherein said polarization interferometric apparatus is adapted to measure the  
10 position of the wafer relative to the imaged radiation.

1           11. The polarization interferometric apparatus of claim 1 further including a  
2 microlithographic means operatively associated with said polarization interferometric

WO 03/019109

PCT/US02/25898

3 apparatus for use in fabricating integrated circuits on a wafer, said microlithographic  
4 means comprising:  
5 at least one stage for supporting a wafer;  
6 an illumination system including a radiation source, a mask, a positioning  
7 system, a lens assembly, and predetermined portions of said polarization  
8 interferometric apparatus,  
9 said microlithographic means being operative such that the source directs  
10 radiation through said mask to produce spatially patterned radiation, said positioning  
11 system adjusts the position of said mask relative to radiation from said source, said  
12 lens assembly images said spatially patterned radiation onto the wafer, and said  
13 polarization interferometric apparatus measures the position of said mask relative to  
14 said radiation from said source.

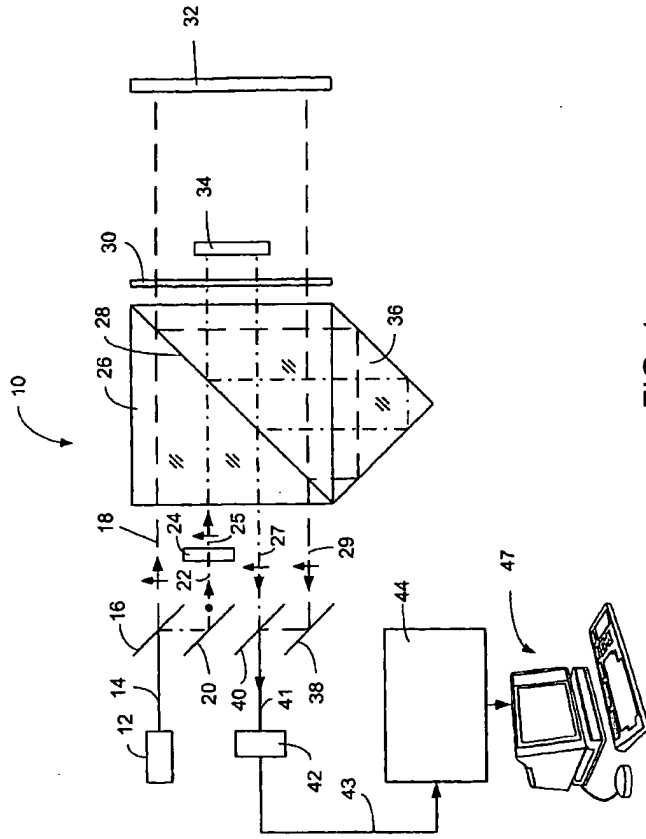
1 12. The polarization interferometric apparatus of claim 1 further including  
2 microlithographic apparatus operatively associated with said polarization  
3 interferometric apparatus for fabricating integrated circuits comprising first and second  
4 components, said first and second components being moveable relative to one  
5 another and said polarization interferometric apparatus, said first and second  
6 components being connected with said first and second measurement legs,  
7 respectively, moving in concert therewith, such that said polarization interferometric  
8 apparatus measures the position of said first component relative to said second  
9 component.

13. The polarization interferometric apparatus of claim 1 further including a  
beam writing system operatively associated with said polarization interferometric  
apparatus for use in fabricating a lithography mask, said beam writing system  
comprising:

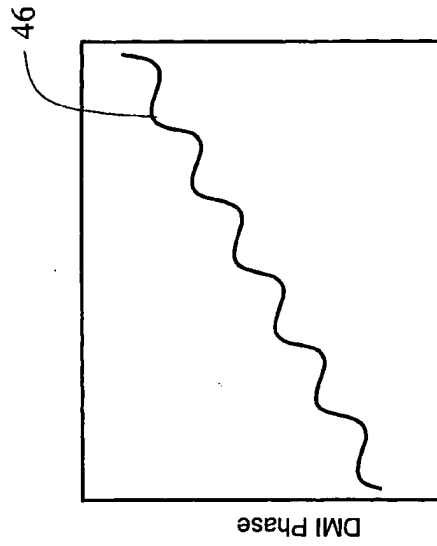
a source for providing a write beam to pattern a substrate;  
at least one stage for supporting a substrate;  
a beam directing assembly for delivering said write beam to the substrate; and  
a positioning system for positioning said at least one stage and said beam  
directing assembly relative to one another,

said polarization interferometric apparatus being adapted to measure the  
position of said at least one stage relative to said beam directing assembly.

1/25



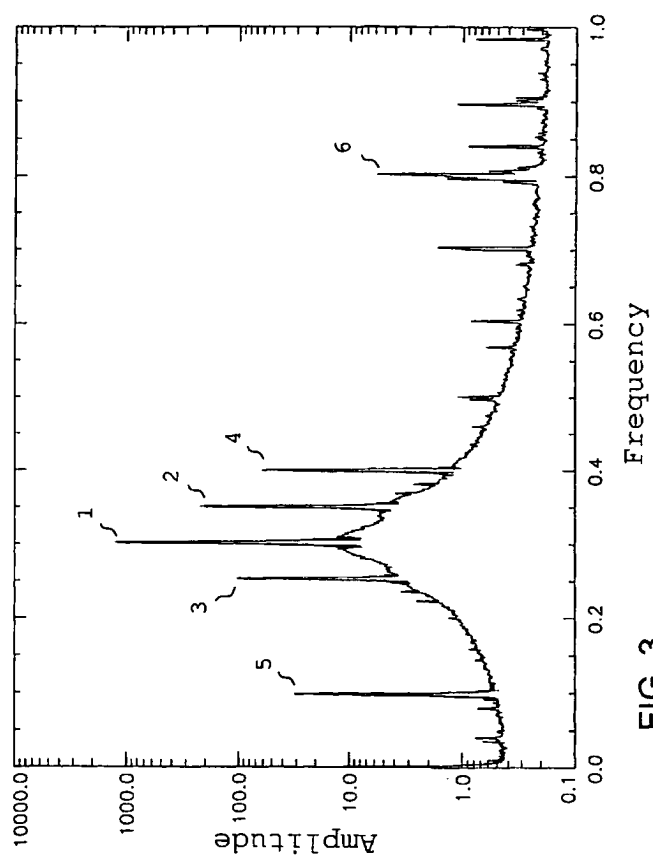
2/25



Distance

FIG. 2

3/25





4/25

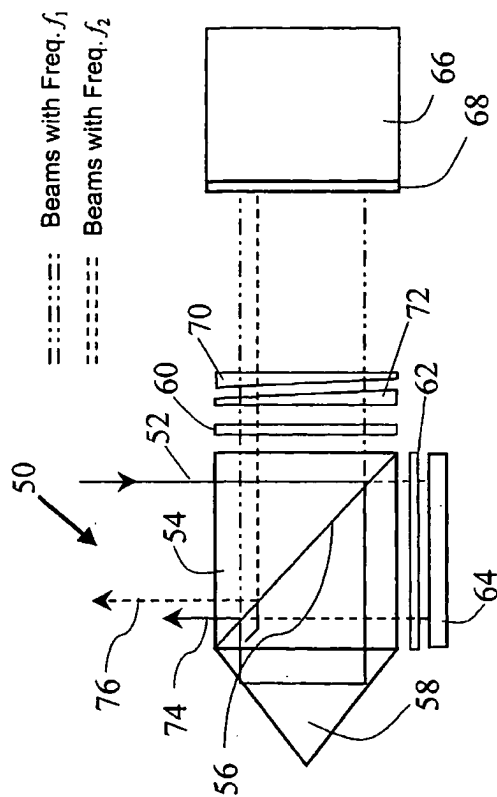


FIG. 4

5/25

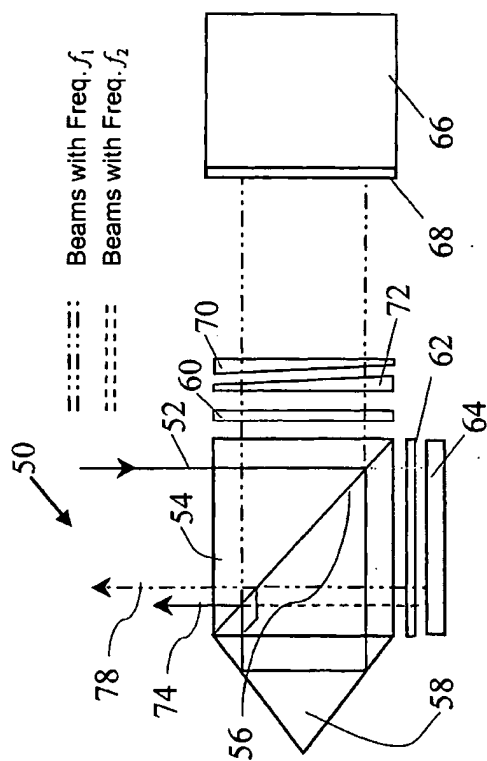


FIG. 5

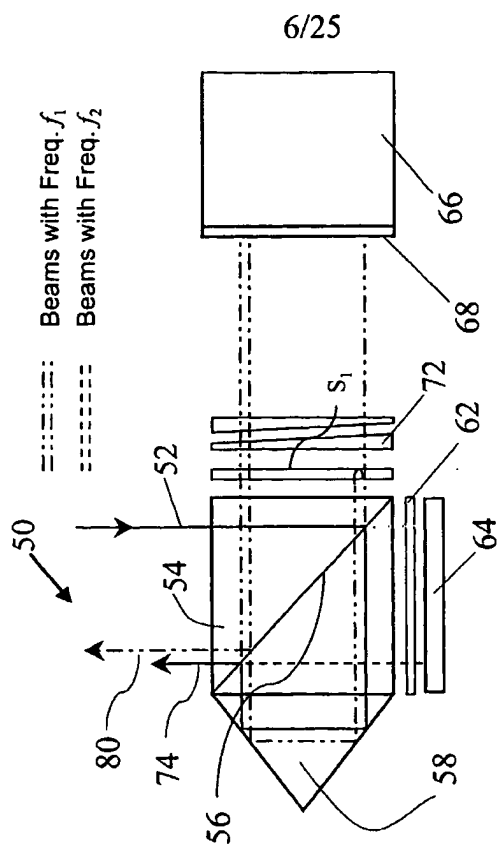


FIG. 6

7/25

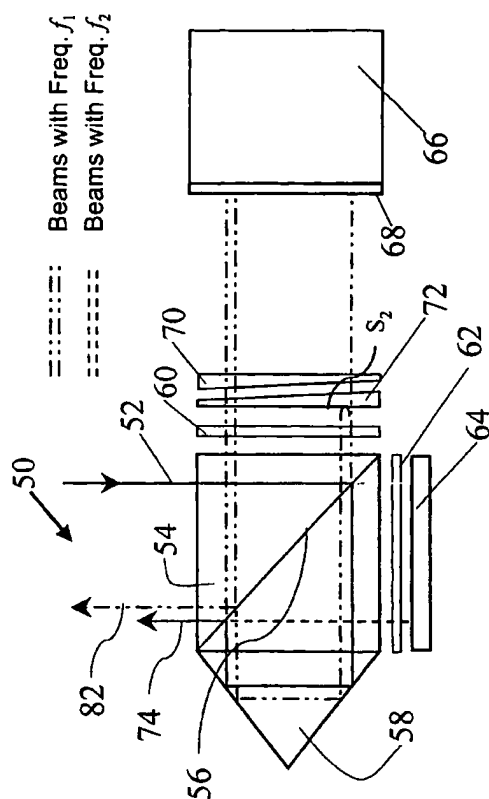


FIG. 7

8/25

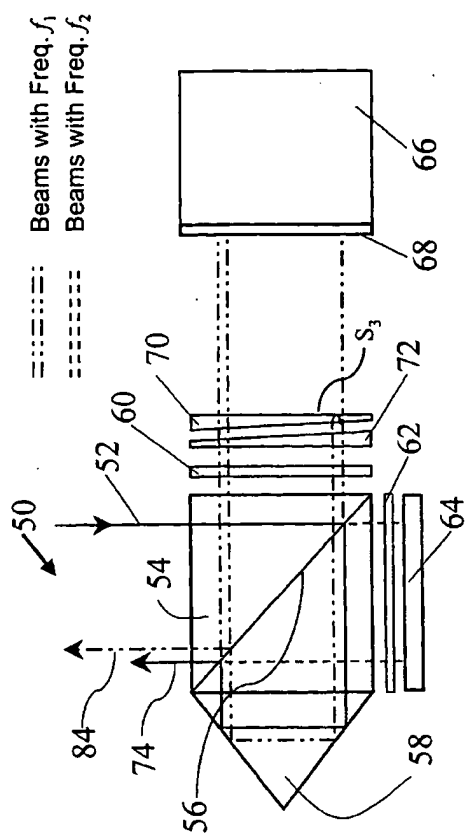


FIG. 8

9/25

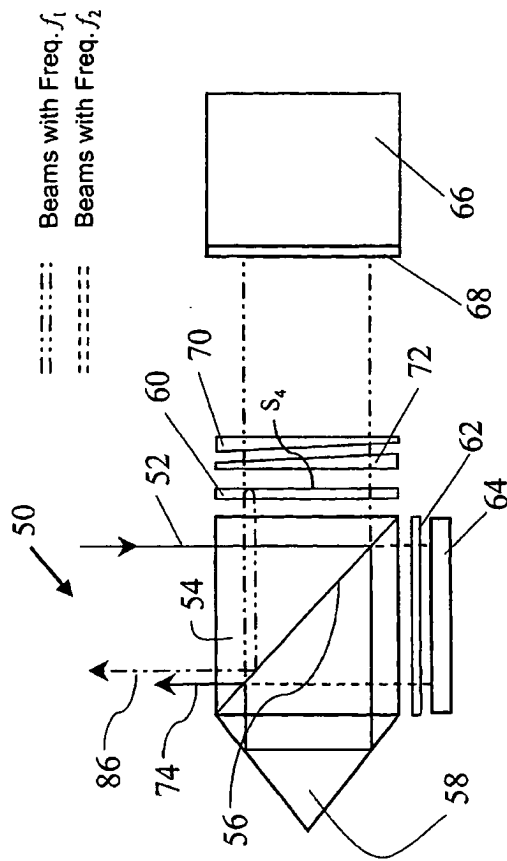


FIG. 9

10/25

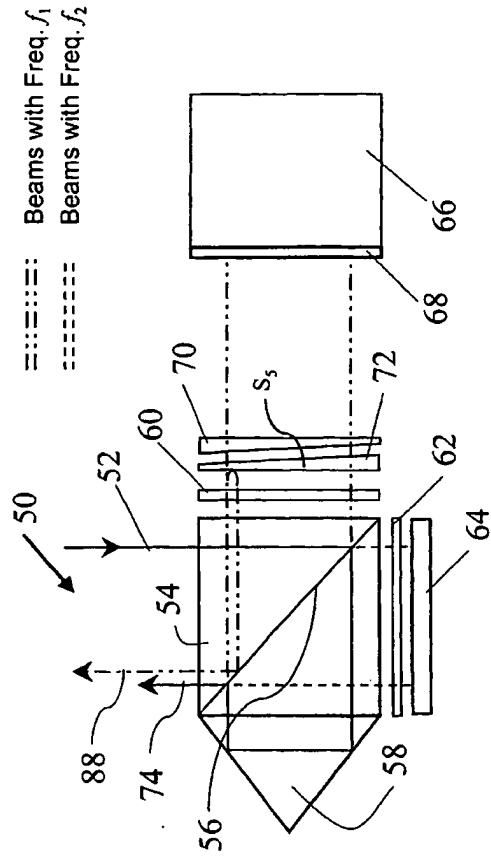


FIG. 10

11/25

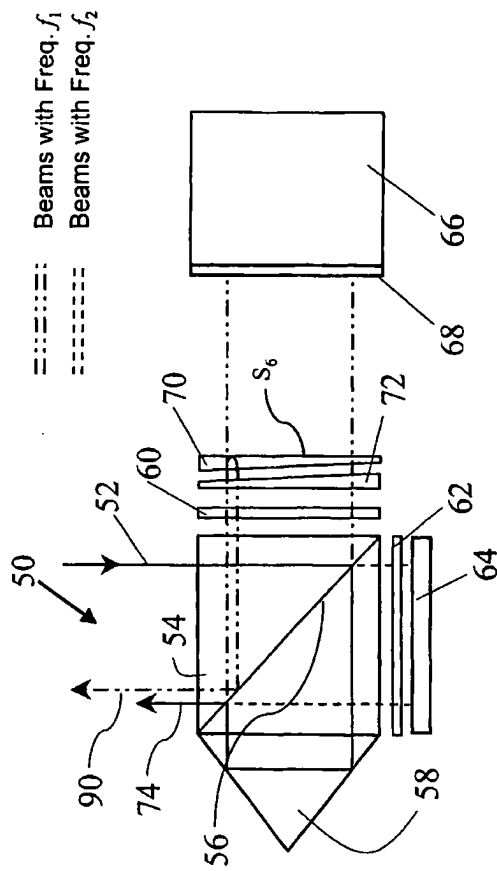


FIG. 11



12/25

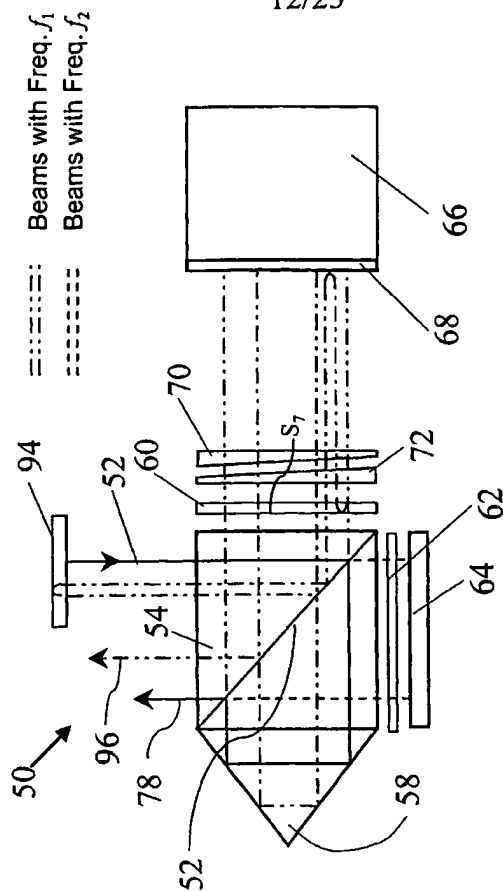


FIG. 12

13/25

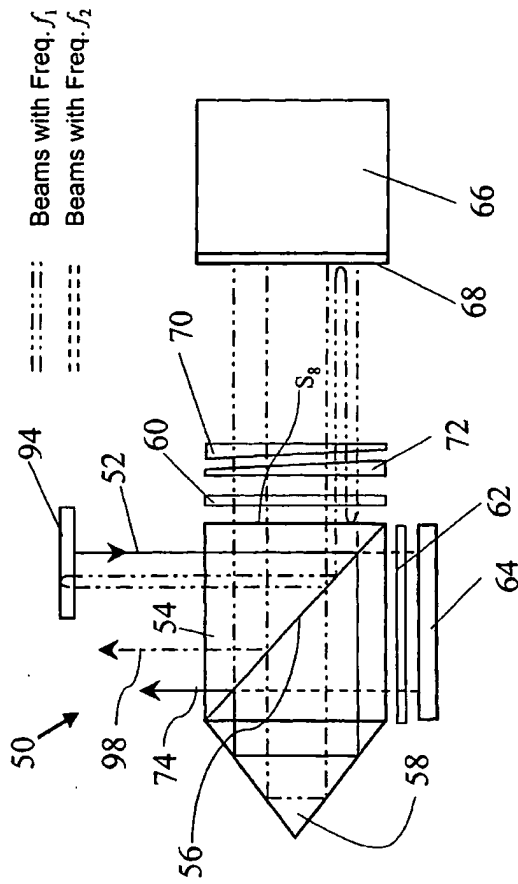


FIG. 13

14/25

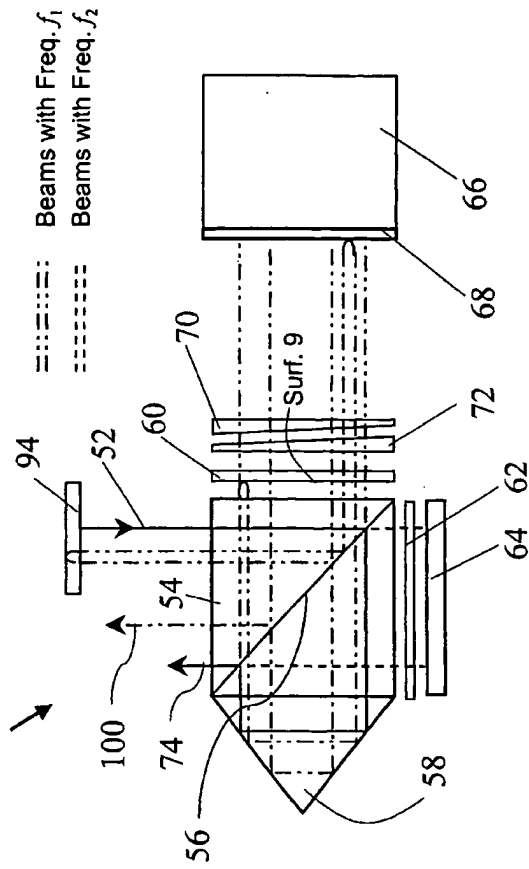


FIG. 14

15/25

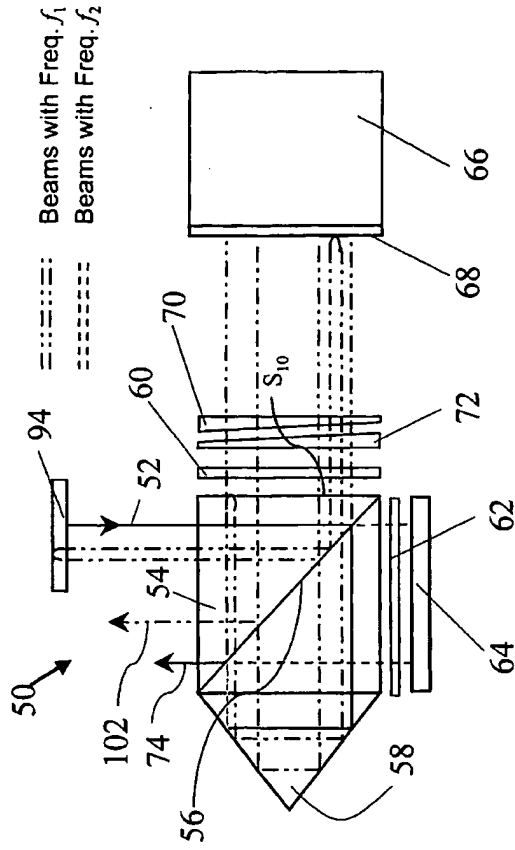


FIG. 15

16/25

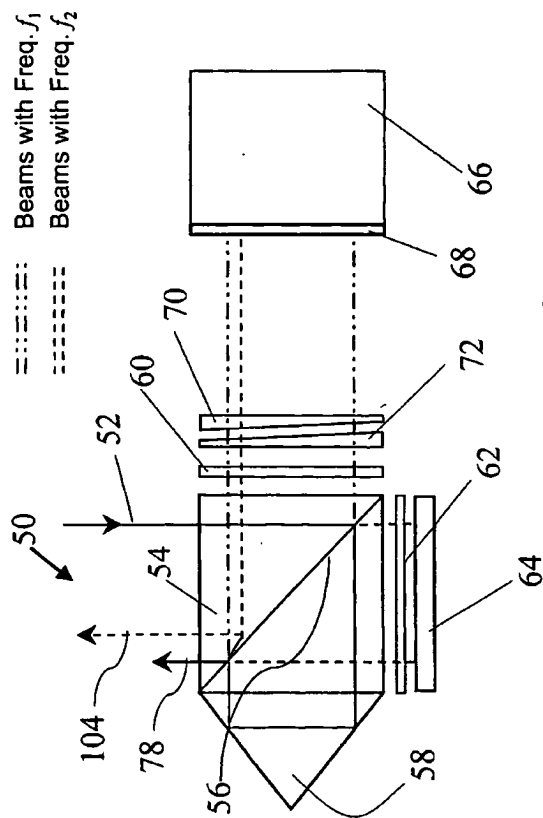


FIG. 16

17/25

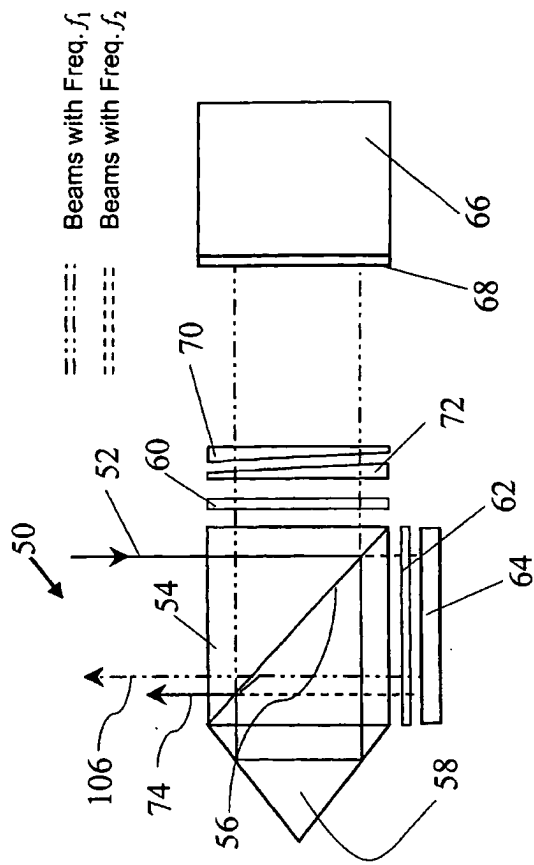
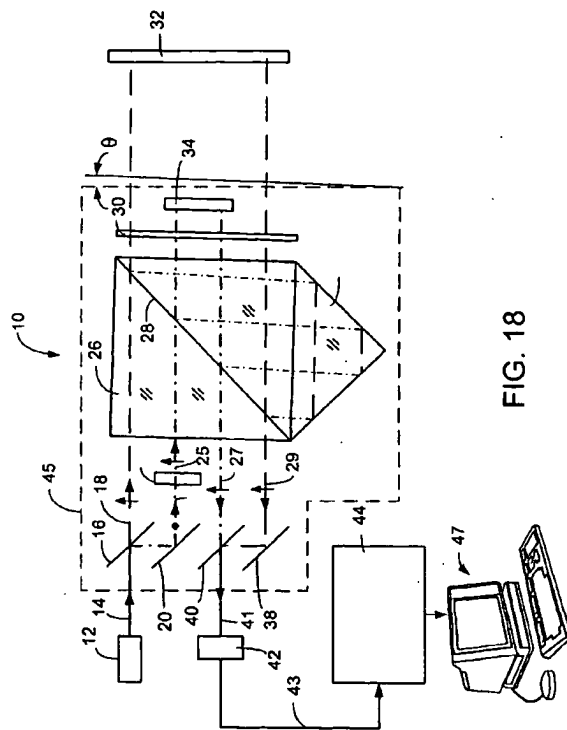


FIG. 17



WO 03/019109

PCT/US02/25898

19/25

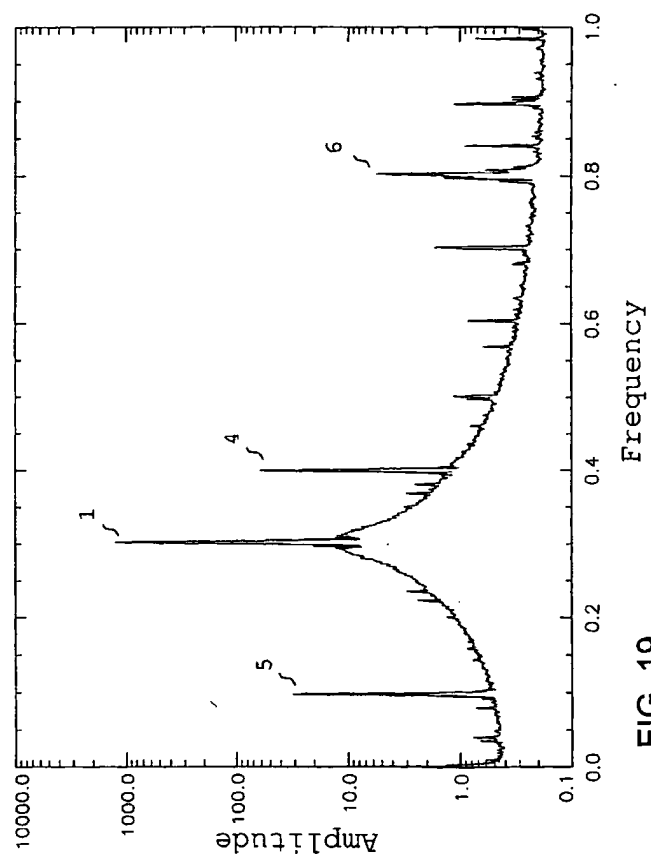


FIG. 19





21/25

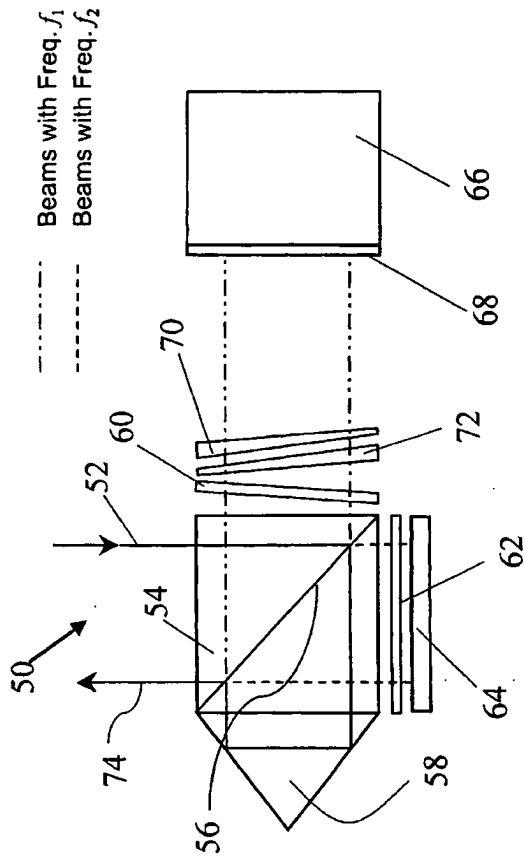


FIG. 21

22/25

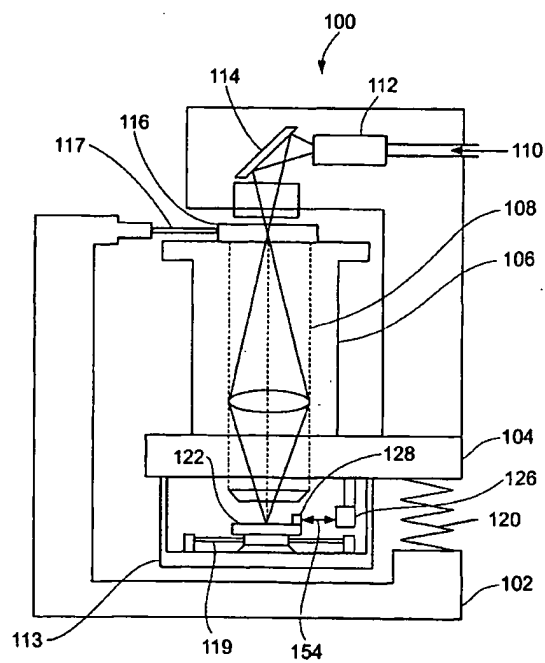


FIG. 22

23/25

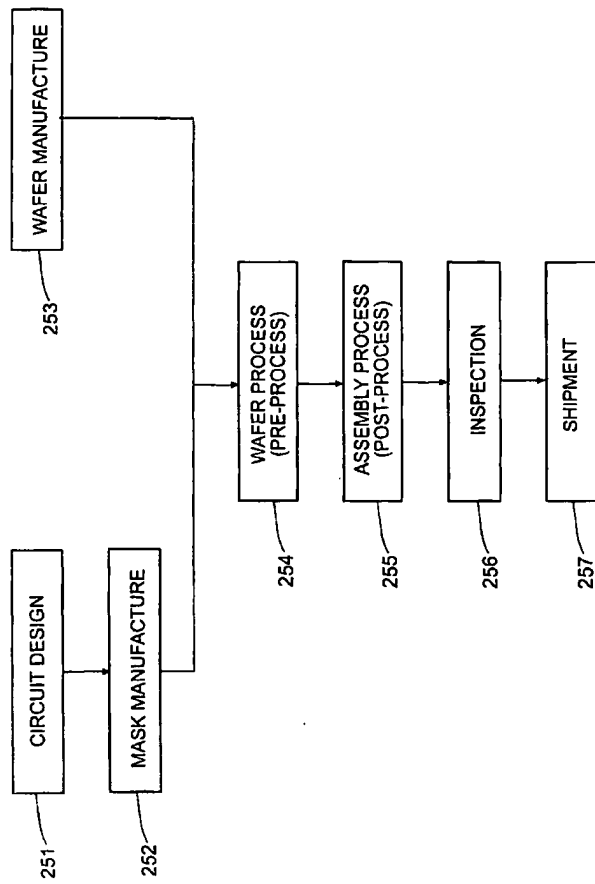


FIG. 23

24/25

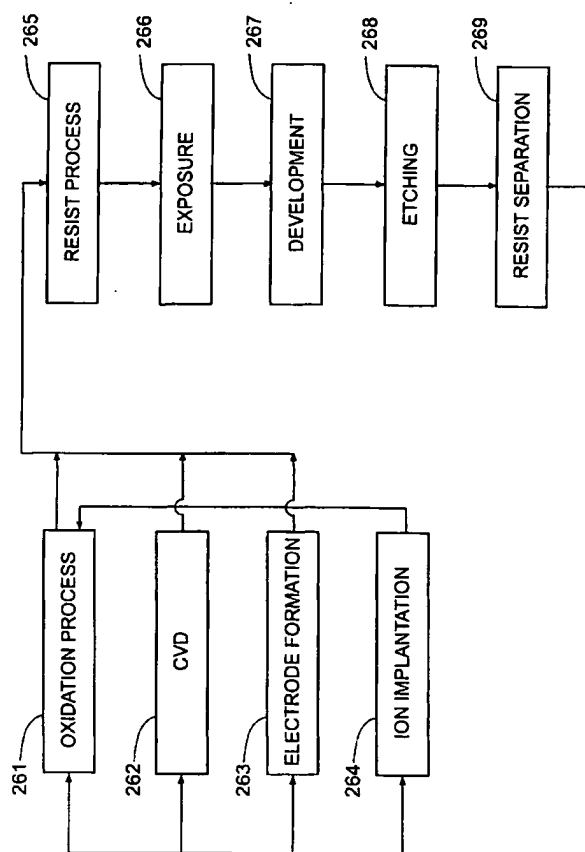


FIG. 24

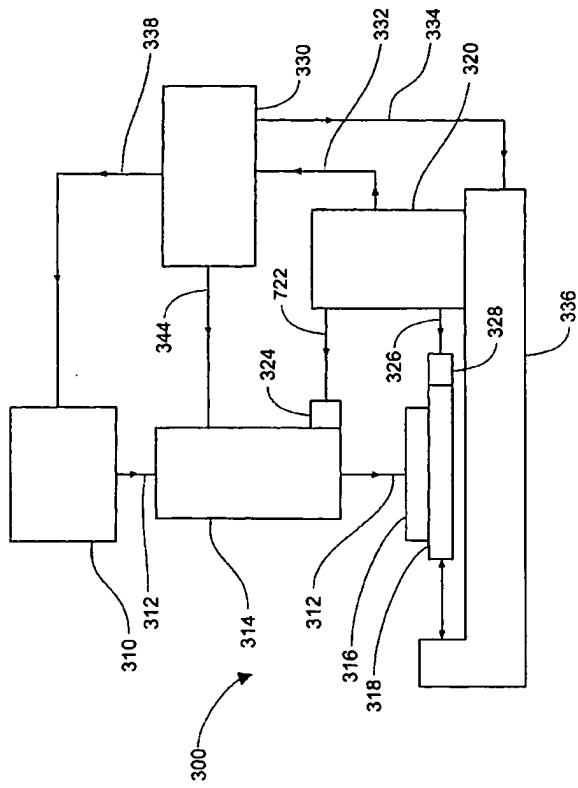


FIG. 25

## 【国際調査報告】

<b>INTERNATIONAL SEARCH REPORT</b>		International application No. PCT/US02/25898
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC(T) : G01B 9/02 US CL : 356/493 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 356/493  Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched NONE  Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) NONE		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6,163,379 A (DEGROOT) 19 December 2000 (19.12.2000), see entire document.	1-13
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is considered in combination with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "A" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 30 September 2002 (30.09.2002)		Date of mailing of the international search report 06 JAN 2003
Name and mailing address of the ISA/US Commissioner of Patents and Trademarks Box PCT Washington, D.C. 20231 Facsimile No. (703)305-3230		Authorized officer: <i>Shawn J. Happe</i> Frank G. Forz Telephone No. 703-308-0956

---

フロントページの続き

Fターム(参考) 2F064 AA03 AA15 BB01 DD04 DD08 EE01 FF01 FF05 GG12 GG23  
GG33 GG34 GG38 GG39 JJ04  
5F046 CC16